



QUELS BESOINS D'INVESTISSEMENTS POUR LES OBJECTIFS FRANÇAIS DE DÉCARBONATION EN 2030 ?

Logan GOURMAND

QUELS INVESTISSEMENTS POUR LES OBJECTIFS FRANÇAIS DE DÉCARBONATION EN 2030 ?

Logan Gourmand*

Ce document s'appuie sur des contributions de Laura Berthet et Robert Benda. Ce document de travail n'engage que ses auteurs. L'objet de sa diffusion est de stimuler le débat et d'appeler commentaires et critiques.

***Logan Gourmand** est en poste à la Direction Générale du Trésor au Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique (France)

logan.gourmand@dgtresor.gouv.fr (+33-1-44-87-18-43)

Les auteurs remercient également l'ensemble des personnes ayant participé à l'élaboration de ce document de travail : Stéphane Sorbe, Louise Rabier, Clément Roman, Éléonore Cécillon, Alice Grémillet, Maël Forcier, Thomas Kergonou Jimenez, Jean-Baptiste Arnoux, Sonia Delmas, François-Emmanuel Lacassagne, Pierre-Adrien Collet, Pierre-Louis Girard, Jérôme Trinh, François Chabrol, Nicolas Taconet (Direction générale du trésor) ; Tom Gagnebet, Louis Bédier et Thomas Jeannin (Direction générale des entreprises) ; Hadrien Hainaut, Erwann Kerrand et Solène Metayer (Institut de l'économie pour le climat) ; Selma Mahfouz (Inspection générale des finances) ; Gaël Callonec (ADEME) ; Raphaël Trotignon (Rexecode).

Table des matières

1. PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE ET DES ETUDES MOBILISEES	9
1.1 PRINCIPES METHODOLOGIQUES DE L'ESTIMATION	9
1.2 PANORAMA DES ETUDES MOBILISEES	13
2. RESULTATS SECTORIELS	15
2.1 CHAPITRE 1 - BATIMENTS	15
a. Émissions du secteur, objectif de réduction et principaux leviers de décarbonation.....	16
b. Besoins d'investissements.....	17
c. Principaux facteurs d'incertitude	19
d. Acteurs concernés	20
Annexe sectorielle 1.1 – Détail des résultats*	21
Annexe sectorielle 1.2 - Détail des études	22
2.2 CHAPITRE 2 - TRANSPORTS	24
a. Cibles de réduction d'émissions et principaux leviers.....	24
b. Besoins d'investissements.....	25
c. Principales limites et incertitudes.....	28
d. Acteurs concernés	28
Annexe sectorielle 2.1 – Détail des résultats	29
Annexe sectorielle 2.2 - Détail des études	30
2.3 CHAPITRE 3 - ÉNERGIE	31
a. Émissions du secteur, objectif de réduction et principaux leviers de décarbonation.....	31
b. Besoins d'investissements.....	33
c. Principales limites et incertitudes.....	34
d. Acteurs concernés	35
Annexe sectorielle 3.1 - Détail des résultats	36
Annexe sectorielle 3.2 - Détail des études	37
2.4 CHAPITRE 4 - INDUSTRIE	38
a. Émissions du secteur, objectif de réduction et principaux leviers de décarbonation.....	38
b. Besoins d'investissements.....	39
c. Principaux facteurs d'incertitude	41
d. Acteurs concernés	42
Annexe sectorielle 4.1 – Détail des résultats	43
Annexe sectorielle 4.2 - Détail des études	44
2.5 CHAPITRE 5 - AGRICULTURE ET FORETS	45
a. Estimations du secteur, objectif de réduction et principaux leviers de décarbonation	45
b. Besoins d'investissements.....	47
c. Acteurs concernés	49
d. Principales limites et incertitudes.....	49
Annexe sectorielle 5.1 – Détail des résultats	50
Annexe sectorielle 5.2 – Détail des études	51
2.6 CHAPITRE 6 - DECHETS	52
a. Estimations du secteur, objectif de réduction et principaux leviers de décarbonation	52
b. Besoins d'investissements.....	53
c. Acteurs concernés	54
d. Principales limites et incertitudes.....	54
Annexe sectorielle 6.1 – Détail des résultats	55
Annexe sectorielle 6.2 - Détail des études	55
CONCLUSION.....	56
BIBLIOGRAPHIE	59
ANNEXE 1 - PRINCIPAUX RESULTATS DE BESOINS D'INVESTISSEMENTS AVANT HARMONISATION DES RESULTATS, PAR ETUDE ET PAR SECTEUR	61
ANNEXE 2 – REVUE DES ESTIMATIONS ACTUELLES DE BESOINS D'INVESTISSEMENTS SUPPLEMENTAIRES AUX NIVEAUX MONDIAL ET EUROPEEN	62

Résumé

L'atteinte des objectifs climatiques nécessite une réorientation massive des flux d'investissements vers les postes de décarbonation. Après un exposé des différentes définitions de besoins d'investissements bas-carbone, ce document présente un panorama harmonisé des estimations réalisées à l'horizon 2030 et les complète avec des chiffrages en propre des auteurs sur l'électrification du transport routier, la rénovation thermique des résidences principales et la replantation forestière.

Les études disponibles estiment les besoins pour la décarbonation de l'économie française entre +55 et +130 Md€/an en 2030 par rapport à 2021 (limités à environ +100 Md€/an lorsque moyennés entre 2024 et 2030), soit entre +2 et +5 %_{PIB}/an au total en 2030. En complétant ces résultats de chiffrages en propre, nous estimons les besoins supplémentaires bruts dans les postes bas-carbone à environ +110 Md€/an en 2030 par rapport à 2021. Les besoins supplémentaires nets seraient limités à +63 Md€/an en retranchant les moindres investissements (i) dans les alternatives carbonées (e.g. en ne considérant que le surcoût d'un véhicule électrique par rapport à un véhicule thermique) et (ii) dans la construction neuve. Des estimations d'évolution d'investissements fossiles en baisse par ailleurs (e.g. baisse d'immatriculations de véhicules thermiques liée à la sobriété) et d'économies sur la facture énergétique sont également fournies à titre illustratif, leur réorientation pouvant couvrir une partie des besoins d'investissements nets précédemment calculés.

Ces ordres de grandeur sont cohérents avec ceux du rapport Pisani-Ferry-Mahfouz (resp. +101 Md€/an en brut et +66 Md€/an en net). Toutefois, ils s'accompagnent de fortes incertitudes, liées au caractère plus ou moins efficient des investissements réalisés. Par ailleurs, si la décarbonation de l'économie passera avant tout par la réorientation des flux d'investissements du secteur privé, la répartition de l'effort public-privé n'est pas étudiée ici, celle-ci dépendant de la combinaison de politiques publiques déployées.

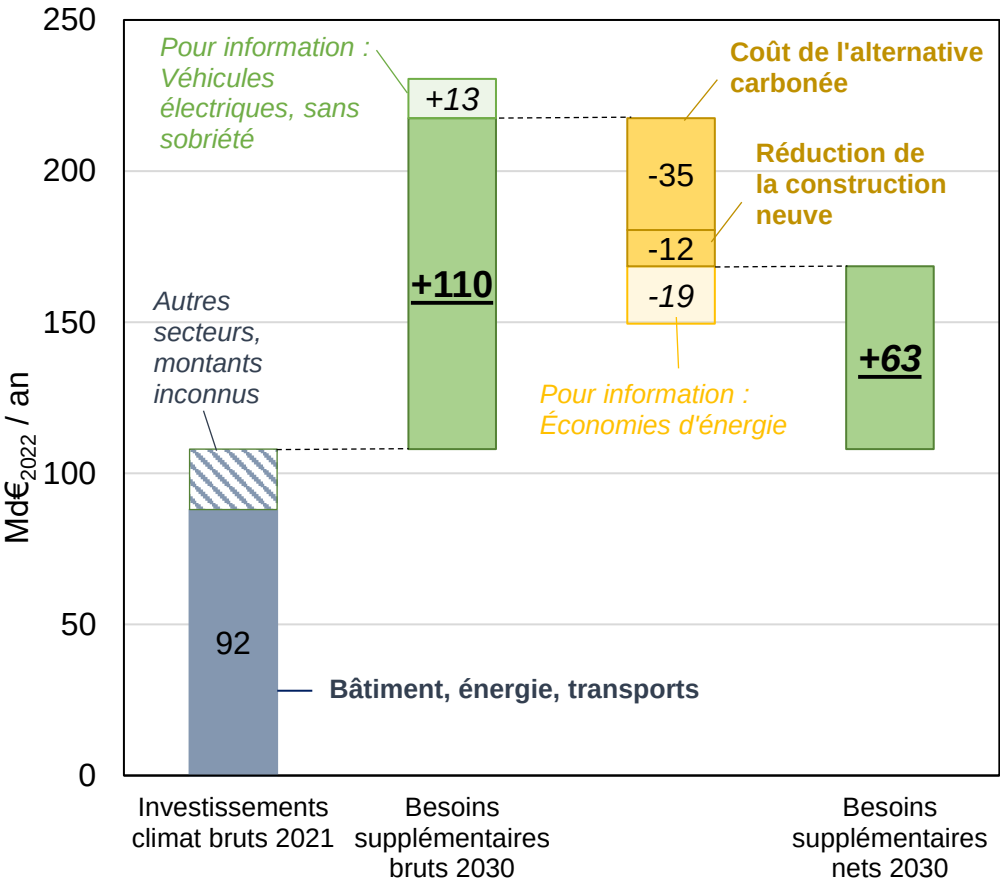
Abstract

Reaching our climate objectives requires a massive redirection of investment flows towards decarbonisation. We hereby provide a methodological clarification of the different definitions of low-carbon investment needs used in the literature. We also present a harmonised overview of the estimates of additional low-carbon investment needs up to 2030, completing them with our own results for the electrification of road transport, thermal renovation of primary residences and forest regeneration.

Recent studies estimate the investment needs for the decarbonisation of the French economy between +€55 and +€130 bn/year in 2030 compared with 2021 (limited to about +€100 bn/year on average for 2024-2030), *i.e.* between +2 and +5 %_{GDP}/year. We estimate the additional investment needs in low-carbon assets at around +€110 bn/year in 2030 compared with 2021. Net needs would be limited to a maximum of +€63 bn/year when accounting for lower investments (i) in carbon alternatives (e.g. considering the additional cost of an electric vehicle with respect to a thermal one, rather than its full cost) and (ii) in new buildings. We also provide estimates of further declining fossil investments (e.g. fall in the number of fossil combustion vehicles registered as a result of demand-side mitigation measures) and of savings on energy bills for illustrative purposes, as their reorientation could cover part of the net investment needs calculated above.

These orders of magnitude are consistent with those of the Pisani-Ferry-Mahfouz report (respectively +€101 bn/year gross and +€66 bn/year net). However, the results are subject to considerable technical and conceptual uncertainties, particularly regarding the efficiency of the investments. Finally, while decarbonising will require a massive redirection of private sector investment flows, the sharing of the burden between public and private funds is not examined here, as it will depend on the mix of public policies deployed.

Graphique et Tableau 1 : Besoins d'investissements supplémentaires bas-carbone en 2030



Secteur		Présent document de travail ¹
Total	Bruts	+110 Md€/an
	Nets	+63 Md€/an
Bâtiment	Bruts	+39 Md€/an avec redirection vers des investissements coût-efficaces
	Coût de l'alternative carbonée	-6 Md€/an
	Baisse construction neuve	-12 Md€/an
	Pour information : Économies énergétiques (résidentiel)	-10 Md€/an
Transport	Bruts	+43 Md€/an
	Coût de l'alternative carbonée	-29 Md€/an
	Pour information : Économies énergétiques (véhicules routiers)	-9 Md€/an
	Pour information : véhicules électriques évités par des mesures de sobriété	-13 Md€/an
Énergie		+17 Md€/an
Industrie		+5 Md€/an avec Opex
Agriculture et forêt		+5 Md€/an
Déchets		+1 Md€/an

Sources : Résidentiel, transport hors infrastructures et renouvellement forestier : chiffrage des auteurs ; Tertiaire et construction neuve : I4CE (2023a) SNBC3 ; Infrastructures de transport : JPF-SM (2023) ; Énergie : borne haute RTE (2023) ; Industrie : DGE (2023) dont investissements à l'achat pris en non supplémentaires ; Agriculture : borne inférieure des chiffrages mobilisés ; Forêt hors renouvellement forestier : moyenne des chiffrages disponibles ; Déchets : Rexecode (2022).

Note de lecture : Les besoins supplémentaires pour la décarbonation en 2030 atteignent **+110 Md€/an** par rapport à 2021. En l'absence de modération de la hausse du nombre d'immatriculations, les besoins supplémentaires dans les véhicules électriques seraient tirés à la hausse de 13 Md€/an. Nets des investissements consentis dans les alternatives carbonées à usage équivalent et de la baisse de la construction neuve, les besoins supplémentaires atteignent **+63 Md€/an**. Les économies sur la facture énergétique sur la durée de vie des investissements permettront d'atténuer les coûts d'investissements à l'achat de 19 Md€/an.

Introduction

Adopté en décembre 2021, l'accord de Paris sur le Climat a structuré le cadre d'ambition climatique internationale, décliné au niveau européen par l'adoption du paquet *Fit For 55* par la Commission européenne et le Conseil de l'Union européenne en juin 2022. Celui-ci vise à guider l'Union européenne vers la diminution de ses émissions nettes de gaz à effet de serre de -55 % en 2030 par rapport à 1990, contre -40 % dans les précédents engagements.

Les études actuelles estiment les besoins d'investissements totaux (privés et publics) associés au respect de ces objectifs à entre +2 et +3 %_{PIB} par an dans le monde et en Europe (cf. Annexe 2) en 2030 par rapport à 2021. En particulier, au niveau européen, pour atteindre l'objectif de -55 % de réduction des émissions nettes en 2030, la Commission européenne estime les besoins bruts d'investissements supplémentaires à +477 Md€/an d'ici 2030 (+3 %_{PIB}) pour la décarbonation des postes énergétiques (hors émissions de procédés dans l'industrie, ou émissions dans l'agriculture par exemple), par rapport à la moyenne des investissements des dix dernières années. Au niveau mondial, pour atteindre la neutralité carbone en 2050¹, les besoins bruts supplémentaires sont estimés par différentes études à environ +2 pts _{PIB}/an en moyenne par rapport à 2021, soit +3 000 à 3 500 Md\$/an.

Dans ce contexte de rehaussement des objectifs climatiques, le gouvernement français a lancé en 2022 un vaste chantier de planification écologique, sous l'égide du Secrétariat général à la planification écologique (SGPE). L'objectif du plan France Nation Verte est de définir des actions concrètes pour réussir la transition écologique et répondre à cinq objectifs environnementaux, dont la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le SGPE a ainsi publié un premier plan en juillet 2023 qui offre un panorama provisoire des leviers et des trajectoires de réduction d'émissions possibles, permettant l'atteinte des objectifs climatiques rehaussés de la France en 2030² et qui seront détaillés dans la prochaine Stratégie nationale bas carbone (SNBC3).

La transition vers des actifs bas-carbone nécessitera des investissements massifs dont la quantification et le pilotage de la trajectoire dans chaque secteur est cruciale pour l'atteinte de ces objectifs climatiques. Malgré une hausse marquée depuis cinq ans, les investissements de décarbonation sont encore insuffisants pour atteindre nos objectifs climatiques. En France, l'Institut de l'économie pour le climat (I4CE) chiffre à 92 Md€ les investissements privés et publics en faveur du climat³ en 2021, soit 3,7 % du PIB. Ces montants sont en hausse de près de 40 % depuis 2016, avec un bond de +18 Md€ entre 2020 et 2021 traduisant l'impact du plan France Relance⁴ et de la reprise d'activité post-Covid. Toutefois, les études convergent sur le besoin d'efforts supplémentaires pour respecter notre objectif climatique actuel et *a fortiori* la SNBC3 dont l'ambition climatique sera plus élevée.

Il existe des premières estimations des besoins d'investissements pour la décarbonation, mais leur mise en cohérence reste compliquée par la forte hétérogénéité des définitions, méthodes et périmètres adoptés entre les études (e.g. efficacité des dépenses d'investissement et des politiques publiques d'atténuation, évolution à venir des coûts des solutions bas-carbone, des prix de l'énergie et du progrès technique, scénarii de transition envisagés, etc.). Le récent rapport de la mission d'évaluation de l'impact macroéconomique de la transition, conduite par Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz, propose un premier chiffrage consolidé de besoins d'investissements pour la SNBC3 en mobilisant certains résultats de calculs des auteurs du présent document de travail. De précédentes études proposaient également des estimations limitées à la SNBC2 mais aucune revue harmonisée n'était disponible jusqu'à présent.

¹ Les scénarios étudiés varient, mais respectent à minima un objectif de réchauffement global moyen à +2°C à l'horizon 2100.

² L'objectif de -40 % d'émissions brutes pour 2030 par rapport à 1990 est en cours de révision à environ -50 %.

³ *i.e.* les investissements en comptabilité nationale (formation brute de capital fixe et consommation de biens durables) et peu émissifs en gaz à effet de serre.

⁴ Hausse des ventes de véhicules électriques, soutien aux énergies renouvelables et rénovation thermique des bâtiments.

Après une clarification des différentes méthodologies et définitions mobilisées dans les études disponibles, ce document de travail propose une explication des différences entre les résultats fournis par la littérature actuelle et fournit une estimation cohérente par secteur des besoins d'investissements supplémentaires dans les actifs bas-carbone, en procédant également à de nouveaux chiffreages en propre. La première partie clarifie les différentes significations des « besoins d'investissements » fournis par la littérature et rappelle le principe des études mobilisées. La seconde partie propose six chapitres sectoriels détaillant, pour les principaux secteurs de la SNBC, un état des lieux des émissions, des leviers de décarbonation à mobiliser, des besoins d'investissements associés et les principaux facteurs d'incertitude, compte tenu des principaux acteurs concernés. En conclusion, nous agrégeons ces résultats afin de fournir un chiffreage cohérent des besoins supplémentaires totaux.

1. Présentation de la méthodologie et des études mobilisées

1.1 Principes méthodologiques de l'estimation

Pour estimer les besoins d'investissements sur le périmètre le plus complet possible de l'économie française, nous mobilisons des estimations en propre pour les secteurs du bâtiment résidentiel, des transports routiers et pour le renouvellement forestier, ainsi qu'une revue de littérature des principaux résultats pour les autres secteurs.

Les investissements supplémentaires pour la transition font cependant l'objet de définitions pouvant varier fortement d'une étude à l'autre. Des recalculs sont donc nécessaires pour raisonner à définitions équivalentes. Certains aspects méthodologiques des études mobilisées ne peuvent toutefois pas être modifiés et varient fortement, imposant la prudence quant à la considération des résultats agrégés, qui doivent être vus comme un ordre de grandeur des besoins d'investissements plutôt que comme une valeur précise.

Encadré 1 : Les différentes définitions et méthodologies d'estimation des investissements pour la décarbonation

La plupart des études mobilisées ici recourent à des modélisations techniques *bottom-up* et sectorielles, décrivant une chronique d'investissements en formation brute de capital fixe et en consommation de biens durables bas-carbone, pour le respect des objectifs climatiques à 2030, sans tenir compte des économies associées sur la facture énergétique.

Les actifs bas-carbone sont identifiés sur la base des différentes orientations de la Stratégie nationale bas-carbone et de la Programmation pluriannuelle de l'énergie. Cette définition est en particulier détaillée dans le Panorama 2023 des financements Climat de l'Institut de l'économie pour le climat (I4CE). Les actifs bas-carbone couvrent ainsi par exemple l'isolation de bâtiments, les véhicules électriques, les infrastructures de transport en commun, la production d'électricité bas-carbone (renouvelable et nucléaire), les réseaux électriques, etc. Les postes sont détaillés en Annexe sectorielle X.1 de chaque chapitre sectoriel du présent document. Ces investissements n'incluent pas ceux qui seraient nécessaires au respect des objectifs environnementaux autres que climatiques (biodiversité, pollution des sols, gestion de l'eau et des ressources) et à l'adaptation au changement climatique. Des montants d'investissements dans certains actifs fossiles (véhicules thermiques notamment) sont par ailleurs fournis à titre informatif.

Dans les études techniques *bottom-up* sectorielles, les besoins d'investissements bas-carbone sont calculés par la multiplication de chroniques d'actifs bas-carbone en volumes par des chroniques de coûts ou de prix associés, une forte incertitude résidant dans l'inclusion ou non des taxes et marges de production. Ces chroniques sont établies secteur par secteur et peuvent être constatées, dans le cadre de la comptabilité nationale historique d'actifs bas-carbone, et projetées, dans le cadre d'exercices prospectifs de simulations de trajectoires d'atteinte des objectifs de décarbonation. Les besoins sont la plupart du temps calculés en euros courants et ne permettent pas d'internaliser la variation des prix sous l'effet de mécanismes macroéconomiques (ex : goulot d'étranglement sur les matières premières, actifs échoués dans les logements, etc.).

Dans les études macroéconomiques, une autre méthode est utilisée parfois, consistant à calibrer d'autres variables comme le prix, de sorte que les agents économiques ajustent leur comportement pour substituer du capital bas-carbone aux énergies fossiles, afin de répliquer les estimations d'investissements des études techniques. Les sorties des modèles d'équilibre général, notamment en matière d'investissement total, tiennent alors compte de l'ajustement de l'économie modélisée au choc d'investissement initial. Ces modèles proposent en effet une représentation synthétique des principales interactions entre les agents économiques (ménages, entreprises, administrations publiques, reste du

monde), permettant de capturer les effets indirects, dits de bouclage macroéconomique. Les montants estimés au niveau microéconomique ou sectoriel peuvent aussi être directement intégrés dans ces modèles pour en mesurer l'incidence sur d'autres variables économiques d'intérêt (e.g. la production des entreprises, la consommation des ménages, l'investissement total etc.). Les besoins d'investissements bas-carbone sont donc parfois des hypothèses de la modélisation macroéconomique, les résultats des études techniques *bottom-up* pouvant être utilisés pour calibrer ces investissements. En sortie de modélisation, ils restent toutefois en partie endogènes car modifiés par les effets de bouclage macroéconomique.

Les investissements considérés dans la plupart des études se limitent à la formation d'actifs matériels et à la consommation finale de biens durables au sens de la comptabilité nationale⁵, et ne couvrent pas les dépenses totales pour la transition (R&D, dépenses d'accompagnement, de formation, compensations, etc.). Nous nous basons ici sur le périmètre d'investissements proposé par le Panorama 2023 des investissements pour le Climat d'I4CE, qui exclut notamment les dépenses de formation de capital immatériel (R&D, etc.) et de consommation courante (carburants, etc.).

La présente étude dresse les besoins d'investissements bruts en 2030, supplémentaires par rapport à 2021. Les investissements peuvent être comptabilisés de différentes façons (cf. Graphique 2) :

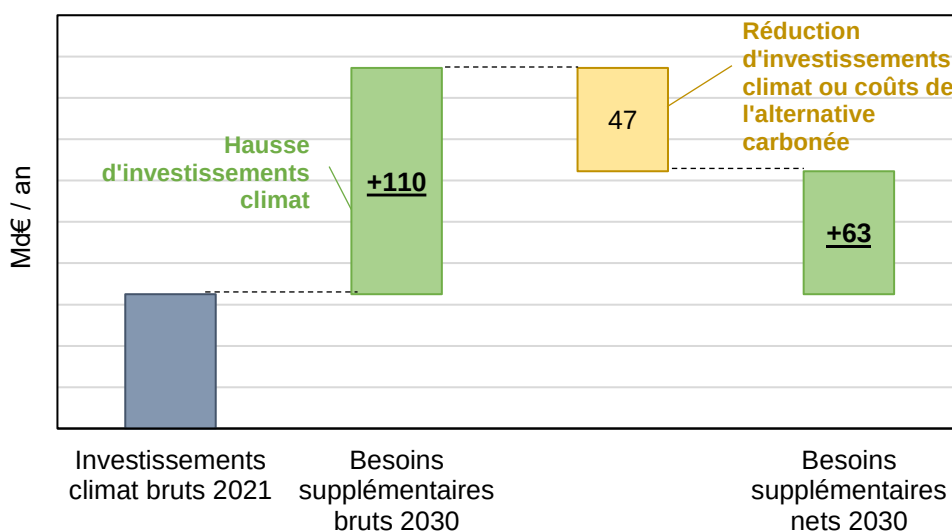
- Bruts (i.e. les montants totaux des investissements dans les actifs bas-carbone), ou nets des investissements qu'ils remplacent directement (i.e. vision en surcoût de l'acquisition de véhicules bas carbone par rapport à thermique, pompe à chaleur plutôt que chaudières gaz, etc.) et nets des investissements climat en baisse du fait de l'atteinte des autres objectifs environnementaux (e.g. baisse des constructions neuves, et donc des investissements liés à la l'isolation dans ces constructions), ou en allant plus loin, nets des investissements en baisse dans d'autres postes (e.g. report modal impliquant de moindres immatriculations, etc.). Nous estimons par exemple les besoins supplémentaires dans les véhicules particuliers bas-carbone à +27 Md€/an, mais à seulement +2 Md€/an en surcoûts par rapport aux véhicules thermiques. Les moindres coûts de fonctionnement (carburants, maintenance, etc.) associés aux actifs bas-carbone et les économies d'énergie associées (vecteur énergétique moins coûteux et meilleure efficacité énergétique) permettent d'amortir les investissements consentis à l'achat.
- Supplémentaires par rapport à une année de référence donnée, ou par rapport à un scénario contrefactuel donné, ou non supplémentaires (totaux 2030 par exemple). Dans notre étude, les besoins sont établis autant que possible en supplémentaires aux investissements constatés de l'année 2021⁶. Ce choix méthodologique permet de s'affranchir de l'incertitude sur les investissements totaux associée à l'absence d'estimation des investissements climat historiques dans certains secteurs (industrie, agriculture, forêts, déchets)⁷.

⁵ Par convention, les investissements sont considérés à l'achat, hors amortissements et coûts de fonctionnement.

⁶ L'absence de comptabilisation des investissements bas-carbone sur l'historique impose dans certains cas de ne détailler que les investissements supplémentaires (notamment pour les secteurs agriculture et forêt, et déchets). Ceux-ci sont alors généralement déduits sur la base du besoin de baisse d'émissions à atteindre dans le scénario de transition, par rapport aux émissions constatées qui sont, elles, mieux connues.

⁷ L'estimation des besoins supplémentaires est en effet réalisable sur la base des coûts d'abattements constatés et du tendanciel observé d'évolution des émissions, ce qui ne nécessite pas de connaître les investissements bas-carbone historiques du secteur.

Graphique 2 : Schéma illustratif de répartition investissements supplémentaires bruts et nets



Source : Auteurs.

Les investissements peuvent également être considérés à l'achat uniquement, ou intégrant les économies (ou surcoûts) de coûts opérationnels⁸ (notamment économies énergétiques). Dans un souci de comparabilité des montants et d'utilité pour les politiques publiques, les besoins présentés dans cette étude sont recalculés afin d'être présentés en bruts des variations de coûts à l'opération, sauf mention contraire explicite. Des estimations des investissements nets de l'alternative carbonée, nets d'autres investissements en baisse ou nets d'économies à l'opération (dépenses énergétiques, de maintenance ou de réparation) sont fournies à titre de complément pour certains secteurs⁹. Dans certaines études - notamment Rexecode (2022) et Institut Rousseau (2022) - les besoins sont établis en surcoûts ou en supplémentaires par rapport à un contrefactuel correspondant à un scénario tendanciel où des investissements futurs différents des investissements constatés historiquement seraient consentis. Les résultats varient en fonction de ce contrefactuel considéré, sur lequel les incertitudes sont parfois fortes (ex : contrefactuel incluant ou non France 2030, ou la baisse de la construction neuve par rapport à aujourd'hui, etc.).

Par ailleurs, la répartition de l'effort public-privé n'est pas détaillée dans le présent document. En effet, les parts publique et privée des dépenses peuvent être estimées sur les investissements historiques, mais non pour le futur car celles-ci sont particulièrement dépendantes du secteur, des leviers et du mix d'instruments de politiques publiques considérés (e.g. signal-prix, réglementations, subventions, etc.)¹⁰. De plus, la caractérisation de la part publique des investissements ne suffirait pas à elle seule à estimer l'effort assumé par le secteur public. Il conviendrait de l'étudier au regard des baisses de recettes pour l'État, qui pourraient être fortes (ex : baisses de recettes d'accises sur l'énergie). Seules les dépenses sont étudiées ici. Il convient donc de se garder d'assimiler ces montants à une mesure du « surcoût total net » de la transition écologique pour les ménages, les entreprises ou l'État. **Ils ne doivent être lus que comme les dépenses en investissements supplémentaires en capital physique bas-carbone dans l'économie.**

⁸ Le cas échéant, les investissements sont alors désignés ici comme étant « nets des économies sur la facture énergétique » ou « nets des Opex », ce qui n'inclut pas les économies du secteur énergétique lui-même liées à la moindre production d'énergie.

⁹ En particulier, les moindres coûts associés aux économies d'énergie (ou de carburants) influent fortement sur le surcoût total pour l'acquéreur et ne sont généralement pas pris en compte dans ces études.

¹⁰ Par exemple, le déclenchement d'investissements dans le secteur de la mobilité bas-carbone nécessite une part publique nettement plus faible que pour la rénovation énergétique de bâtiments (voir les parts estimées proposées dans Institut Rousseau (2022)).

De manière générale, ces ordres de grandeur reposent sur des estimations très hétérogènes dans la méthode retenue et les périmètres couverts. Les périmètres considérés au sein de chaque secteur et les principaux choix méthodologiques sont donc détaillés pour chaque étude, expliquant les écarts parfois importants entre elles. Toutefois, les variations constatées peuvent aussi provenir d'autres différences :

- Les méthodologies varient, allant de certaines approches micro-fondées partant des coûts granulaires sectoriels à des évaluations issues de modélisations macroéconomiques (cf. Encadré 1). D'autres formes de réallocation des investissements peuvent donc être prises en compte (bouclage macroéconomique avec contrainte de revenu, etc.) conduisant à des chiffrages variant dans la nature des besoins estimés ;
- Pour la plupart, les modèles mobilisés n'internalisent pas les pertes de coût-efficacité de certains investissements entre leur décarbonation prévue et effective : par exemple des rénovations effectives de bâtiments moins performantes qu'évaluées *ex ante*.
- Par ailleurs, les estimations ne font pas nécessairement toutes les mêmes hypothèses sur la coût-efficacité des leviers de décarbonation employés (e.g. sur l'effet rebond ou les rénovations échouées) : à objectif d'émissions inchangé, des leviers moins coût-efficaces augmenteront les besoins d'investissement.

La prudence s'impose donc lorsqu'on interprète ou compare des montants de besoins d'investissements.

Encadré 2 : Coûts d'abattement et besoins d'investissements

Certaines études mobilisées se basent sur la notion de coûts d'abattement des leviers de décarbonation pour calculer les besoins d'investissements nécessaires pour décarboner l'économie française. Les coûts d'abattement rapportent la somme des surcoûts et bénéfices monétaires d'un levier de décarbonation sur sa durée de vie, à la réduction totale des émissions de gaz à effet de serre (GES) qu'il permet, par rapport à une option de référence à usage équivalent. Cette métrique permet notamment, à l'aide d'autres indicateurs (durée de vie, abattement total, mais aussi risques de verrouillage technologique, etc.) de hiérarchiser les leviers réduisant le plus d'émissions de GES à niveau d'investissement donné, en €/tCO₂eq.

Dans une démarche d'estimation *bottom-up* des besoins d'investissements, la multiplication des coûts d'abattement moyens par les abattements totaux d'émissions permis par les leviers associés aux scénarios de décarbonation permet d'obtenir une estimation des besoins d'investissements en surcoût de l'alternative carbonée (et nets des économies sur la facture énergétique dans le cas où les coûts d'abattement intégreraient les économies sur la facture énergétique), correspondant alors à la différence d'investissements totaux dans les actifs bas-carbone, entre un scénario de transition et un scénario carboné équivalent.

À l'opposé, dans une optique *top-down*, la mobilisation de modèles macroéconomiques permet de déterminer des besoins d'investissements totaux par secteurs, nets de réallocations inter et intrasectorielles et des économies énergétiques, entre un scénario de transition et un scénario de référence. Il est ainsi possible d'en déduire un ratio des investissements aux émissions évitées par secteur, qui permettent d'informer sur l'ordre de grandeur de l'effort d'investissements totaux à consentir, mais qui ne s'identifient strictement pas à des coûts d'abattement.

Enfin, les estimations mobilisées dans la revue de littérature sont réalisées sur un périmètre partiel. Leurs résultats donnent parfois un minorant des investissements nécessaires à la décarbonation : i) aucune étude ne couvre la totalité des secteurs et leviers de décarbonation, les besoins dans les bâtiments tertiaires, l'agriculture ou les déchets étant particulièrement peu traités ; ii) seuls les besoins territoriaux sont pris en compte – excluant notre contribution au financement de la transition de pays émergents *via* la finance climat ou, au niveau français, à la réduction de notre empreinte carbone¹¹ ; iii) les dépenses supplémentaires liées aux dommages du changement climatique ou à l'adaptation à celui-ci sont encore très peu étudiées¹² ; iv) les besoins au titre des objectifs environnementaux autres que climatiques sont également exclus¹³ ; v) enfin, ces montants sont définis en formation brute de capital fixe et en consommation finale de biens durables et excluent donc les investissements en R&D, de consommation courante ou en capital humain (formation initiale et reconversion, peu estimés aujourd'hui) et les dépenses d'accompagnement des frictions économiques liées à la transition. À titre de comparaison avec les besoins supplémentaires bruts pour le climat en 2030 estimés dans ce document (+110 Md€/an), les investissements totaux en formation brute de capital fixe représentaient environ 612 Md€ en 2022 selon l'Insee.

Aussi, les hypothèses mobilisées dans les scénarios projetés sont parfois fondées sur un prolongement de l'historique, pouvant majorer les besoins sur le périmètre retenu. Les besoins supplémentaires sont estimés en comparant une projection des tendances de coûts et rendements existants, aux investissements constatés sur le passé récent. Plusieurs facteurs peuvent donc jouer à la baisse sur les montants supplémentaires : i) le renforcement des baisses de coûts des leviers étudiés, *via* l'accélération des innovations incrémentales et de rupture ou *via* le déploiement à grande échelle des technologies bas-carbone (ex : baisses de coûts observés sur les panneaux photovoltaïques), ii) les leviers comportementaux, reposant sur la sobriété des usages ou sur les autres changements de pratique (ex : report modal), qui permettraient de diminuer les besoins d'investissements et d'atténuer les effets rebonds issus de l'adoption de nouvelles technologies bas-carbone¹⁴.

1.2 Panorama des études mobilisées

Le chiffrage proposé s'appuie sur une revue de littérature, en tentant, autant que possible, d'harmoniser les estimations entre elles, d'expliquer les principales raisons des différences et pour les différents secteurs, de retenir le périmètre le plus complet possible.

Parmi les études mobilisant une vision transverse de l'économie française, l'INSEE (2020) retient une approche macroéconomique, évaluant les efforts financiers à réaliser pour attendre la neutralité climatique en 2050 à l'aide d'un modèle macroéconomique combinant un critère de répartition intergénérationnelle de l'effort climatique et des hypothèses sur l'efficacité des technologies de décarbonation, en appliquant à notre cible nationale de réduction d'émissions un coût de décarbonation uniforme sur l'ensemble de l'économie (acteurs privés et publics). La cible retenue est la neutralité climatique de la France à horizon 2050. Le coût d'abattement moyen à une période donnée est estimé par une équation macro-technologique, calibrée à partir des coûts moyens d'abattement des différentes technologies observés au niveau sectoriel. L'ADEME (2022) estime les besoins d'investissements à l'aide d'une évaluation macroéconomique à partir du modèle ThreeME, pour atteindre la neutralité carbone en 2050. La modélisation mobilise des signaux-prix fictifs forts pour simuler l'atteinte des objectifs. La modélisation macroéconomique permet de prendre en compte des effets de bouclage inter et intrasectoriels. En contrepartie, le manque de granularité des leviers mobilisés (37 secteurs) ne

¹¹ Un budget indicatif d'empreinte carbone de la France sera pour la première fois décliné dans la SNBC-3.

¹² Les impacts sur l'économie française sont encore insuffisamment connus, mais les dommages d'un réchauffement de +3°C pourraient réduire le PIB français d'au moins 3 % d'ici 2050, selon les dernières estimations du Network for Greening the Financial System (NGFS).

¹³ Au niveau européen ils représenteraient un tiers d'investissements en plus de ceux qui sont nécessaires pour le climat : +130 Md€/an pour la biodiversité, la gestion des ressources et des déchets et contre la pollution selon Commission européenne (2021a), en plus des +477 Md€/an pour le climat détaillés dans Commission européenne (2023).

¹⁴ Ces effets sont par exemple constatés dans le logement ou l'énergie (hausse de la consommation électrique suite à des gestes d'isolation).

permet pas d'en déduire une estimation fine des besoins par type d'actif. France Stratégie (2019) mobilise également la famille de modèles *bottom-up* TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) pour réaliser un exercice de prospective de long terme du système énergétique dans le cadre des réflexions relatives à la Valeur de l'action pour le Climat. En supposant que les coûts de décarbonation pour les émissions non énergétiques sont identiques à ceux des émissions énergétiques, la Commission Quinet déduit le surplus d'investissements entre un scénario tendanciel et un scénario de transition légèrement différent de la SNBC2. L'institut Rousseau (2022) modélise un scénario d'atteinte des objectifs de la SNBC2 et en déduit des besoins d'investissements supplémentaires par rapport à un scénario tendanciel, sans détailler précisément la méthodologie mobilisée. Rexecode (2022) calcule un surcoût d'investissement par rapport à un scénario tendanciel d'émissions, pour atteindre les objectifs de la SNBC2. I4CE (2023a) retient, dans son Panorama des financements pour la transition, une approche « bottom up » ou micro-fondée. L'institut mesure les coûts d'investissements en termes de coûts d'acquisition (CapEx) et en formation brute de capital fixe et consommation finale de biens durables au sens de la comptabilité nationale, associés aux scénarios de la SNBC3 et de l'étude Transition(s) 2050 de l'ADEME respectant l'objectif de neutralité carbone en 2050. Ces besoins futurs estimés sont comparés aux investissements historiques de 2021 estimés également dans le panorama.

Parmi les études adoptant une vision sectorielle, I4CE (2023b) estime les besoins d'investissements bruts sur un périmètre partiel de l'industrie (décarbonation de la production de ciment, d'acier, d'alcènes & alcanes, et d'ammoniac), à partir de données de coûts communiquées par l'ADEME. La DGE (2023)¹⁵ évalue les besoins de financement bruts en CAPEX (non supplémentaires) et OPEX (supplémentaires nets de l'alternative carbonée, *i.e.* vision « en surcoût »), dans la décarbonation pour atteindre les objectifs 2030 de la SNBC3, sur la base des données des feuilles de route des 50 sites les plus émetteurs. La mission confiée à Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz (JPF-SM, 2023) estime les besoins d'investissements pour la décarbonation du résidentiel et des transports routiers et ferroviaires, sur la base d'un raisonnement similaire à celui mobilisé ici. La mission JPF-SM estime également les besoins d'investissements supplémentaires pour les autres secteurs de l'économie, sur la base des résultats du présent document. Certaines études complémentaires (RTE, IDDRI, CGAAER) sont mobilisées pour les secteurs de l'énergie et de l'agriculture.

Nous nous appuyons également fortement sur les rapports Secten du Citepa pour les descriptions des postes d'émissions pour les secteurs.

Enfin, nous proposons un chiffrage des besoins d'investissements sur la base de modélisations en propre pour le secteur du bâtiment et des transports, et de cette revue de littérature pour les autres secteurs.

Encadré 3 : Chiffrages du présent document de travail

Le présent document de travail calcule les besoins d'investissements supplémentaires bruts pour les rénovations du bâtiment résidentiel, pour l'électrification des véhicules et pour le renouvellement forestier, à partir des trajectoires physiques mobilisées dans le premier tour technique de la SNBC3. Les économies sur la facture énergétique sont également calculées pour le résidentiel et les véhicules particuliers.

- Pour le bâtiment résidentiel, nous estimons, pour les résidences principales uniquement, les investissements totaux associés à un nombre de rénovations similaire à celui utilisé par la mission Pisani-Ferry - Mahfouz, mais respectant une montée en puissance du nombre de gestes annuels. Les coûts des monogestes et rénovations globales sont simulés sur la base de coûts constatés de rénovations globales et de changement de vecteurs.

¹⁵ Chiffrages internes réalisés dans le cadre des travaux préparatoires du deuxième Conseil de planification écologique.

- Pour les véhicules routiers, nous avons réalisé une estimation en propre sur la base des prix d'achat constatés historiquement dans le secteur des transports routiers et de la trajectoire d'immatriculations et de prix de l'énergie du premier tour technique de la SNBC3.
- Pour le renouvellement forestier, nous estimons les besoins nécessaires à la restauration du puits par reforestation uniquement, sur la base d'hypothèses de stockage de carbone dans les sols de l'Inra et des coûts de replantation constatés via le Plan France Relance.

Le chiffrage final agrège les résultats des trois modélisations pour les secteurs du résidentiel, des transports routiers et du renouvellement forestier, ainsi que les résultats constatés dans la littérature pour les autres secteurs.

2. Résultats sectoriels

Chaque chapitre sectoriel détaille les principaux postes d'émissions du secteur et leviers de décarbonation associés, résume les résultats de besoins d'investissements par secteur, et conclut sur les principales limites et incertitudes des résultats, ainsi que les principaux acteurs concernés par le choc d'investissements. Les études mobilisées sont répertoriées à la fin de ce document. Une version précédente de ces chapitres a été publiée dans le [premier rapport](#) de l'Institut de la Finance Durable (IFD) en juin 2023 et fut mobilisée également dans certains chiffrages du [rapport Pisani-Ferry - Mahfouz](#).

2.1 Chapitre 1 – Bâtiments

Encadré 4 : Résumé des principaux résultats pour le secteur des bâtiments

Les besoins d'investissements dans les postes bas-carbone des bâtiments, dont la majeure partie des émissions sont concentrées dans le chauffage du résidentiel, sont portés par la rénovation thermique, incluant le changement des vecteurs énergétiques de chauffage.

Les besoins d'investissements supplémentaires bruts pour atteindre les objectifs de baisse d'émissions 2030 de ce secteur se situeraient entre +15 et +43 Md€/an en 2030 par rapport à 2021 selon les hypothèses retenues (rythme des rénovations, étiquettes ciblées, coûts actuels et à venir, etc.). La borne haute serait atteinte dans un scénario très volontariste (sortie intégrale des passoires thermiques avant 2030). Dans le résidentiel, ils seraient plafonnés à +22 Md€/an en 2030 sous l'hypothèse d'un ciblage des gestes vers les plus coûts-efficaces. Les besoins dans le tertiaire sont moins étudiés mais seraient compris entre +5 et +22 Md€/an.

L'année 2021 a été marquée par une hausse des investissements favorables à la décarbonation (+1,4 Md€ en 2021 par rapport à 2019), du fait de la reprise post-Covid et des soutiens publics déployés (France Relance), donc sans garantie que ce rehaussement marque une tendance à la hausse pérenne.

Par ailleurs, le montant total d'investissements à réaliser dans ce secteur devrait être affecté par ceux mobilisés dans la construction neuve, pouvant conduire à des réallocations dans la nature des investissements au sein du secteur. Les investissements actuels dans la construction neuve pourraient être amenés à diminuer pour respecter nos objectifs climatiques et de réduction de l'artificialisation des sols. Ainsi, les investissements bas-carbone de ce poste pourraient diminuer d'une ampleur pouvant aller, selon les scénarios de transition, jusqu'à rendre les investissements nets sur le secteur d'ici 2030 proches des niveaux observés aujourd'hui.

Alors que de fortes incertitudes subsistent sur l'efficacité des rénovations et la capacité des acteurs à les déclencher, notamment chez les ménages les plus modestes, l'augmentation du rythme de rénovation pourrait être ralentie par la trop faible disponibilité de la main d'œuvre ou les tensions sur les chaînes d'approvisionnement.

a. Émissions du secteur, objectif de réduction et principaux leviers de décarbonation

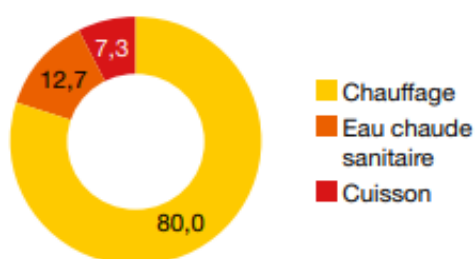
Situation actuelle : en 2021, le secteur « Usage des bâtiments » représentait 18 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) totales françaises¹⁶, soit 75 MtCO₂eq. En comptabilité Secten, utilisée pour rapporter les émissions au niveau national, les émissions attribuées au secteur excluent celles liées à la construction neuve, qui sont comptabilisées dans le secteur de l'industrie. Les émissions « Usage des bâtiments » ont baissé de 19 % entre 1990 et 2021. Ce rythme est encore trop modéré, notamment pour le tertiaire (-22 % pour le résidentiel et -14 % pour le tertiaire). Alors que le 2^{ème} budget carbone du secteur (2019-2023) devrait être respecté notamment grâce à des hivers doux, le 1^{er} budget de la SNBC-1 (2015-2018) n'avait pas été respecté (+12 %) et le respect du 3^{ème} (2024-2028) serait fortement incertain dans le scénario tendanciel actuel d'émissions.

Cible pour 2030 : La SNBC2 établit une cible de diminution d'émissions du secteur à 43,7 MtCO₂eq en 2030 (-53 % par rapport à 1990), nécessitant une diminution de -5,8 % par an entre 2021 et 2030. En intégrant le nouveau rehaussement d'objectif de la France pour 2030 à 50 % de réduction d'émissions brutes de GES par rapport à 1990 (contre -40 % dans la SNBC2), et en supposant une répartition homogène de ce surcroît d'effort national de 10 pts par secteur (la SNBC3 aura la charge de répartir plus finement cet effort), l'objectif du secteur passerait à 34,4 MtCO₂eq en 2030, nécessitant -8,3 % d'émissions par an entre 2021 et 2030, soit un rythme moyen de diminution d'émissions 4 fois supérieur à celui du secteur en 2015 et 2021 (-1,9 %/an). En outre, la récente révision à la baisse de la performance du puits national forestier de stockage de carbone rehausserait encore la cible de décarbonation de tous les secteurs, y compris du bâtiment.

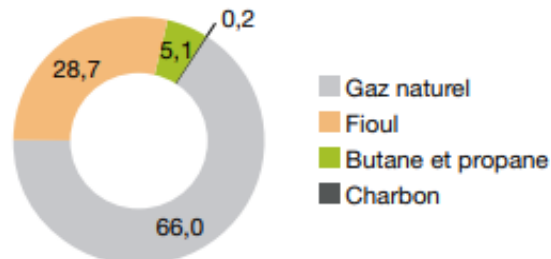
Postes d'émissions : Les émissions du secteur résidentiel concentrent 64 % de celles du secteur des bâtiments, le non-résidentiel (tertiaire, e.g. bâtiments publics) comptant pour les 36 % restants. Elles sont dues pour la majeure partie au CO₂ (85 % des émissions), dont le principal poste émetteur en 2020 est le chauffage (80 % du CO₂). En particulier, la combustion du gaz naturel représente 66 % des émissions de CO₂ des bâtiments résidentiels, loin devant le fioul (29 %), bien que ce dernier soit plus émetteur par unité d'énergie¹⁷. Les bâtiments privés (logements et tertiaire privé) représentent près des trois quarts des émissions de GES du secteur (le parc public couvre les bâtiments de l'État, de ses opérateurs, des collectivités locales ainsi que le parc social).

Graphique 3 : Répartition des émissions de CO₂, liées aux bâtiments résidentiels en France

Répartition des émissions du résidentiel en 2020 par poste



Répartition des émissions du résidentiel en 2020 par combustible



Note : ne sont prises en compte que les émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergies fossiles. Le contenu carbone de l'électricité et de la chaleur achetée à des réseaux n'est pas pris en compte. Les émissions des activités de construction des bâtiments sont comptabilisées dans la catégorie « Industrie manufacturière et construction » (voir p. 54).

Source : SDES, décembre 2022, Les chiffres clés du climat.

¹⁶ Les émissions attribuées au secteur excluent celles liées à la construction neuve, qui sont comptabilisées dans le secteur de l'industrie.

¹⁷ Seules les émissions directes (scope 1) sont attribuées au secteur. Les émissions liées à la production d'électricité sont associées au secteur Énergie.

Principaux leviers de décarbonation : l'actuelle stratégie nationale bas carbone (SNBC2) identifie les principaux leviers de décarbonation, toujours d'actualité aujourd'hui :

1. Accélération de la rénovation énergétique du secteur résidentiel (accélération du rythme de rénovations, ciblage vers les rénovations efficaces – et leviers économiques associés : renforcement de l'accompagnement des ménages, structuration de la filière, prix de l'énergie, etc.).
2. En particulier, changement des vecteurs énergétiques de chauffage (fin du fioul, accélération de la transition du gaz vers les pompes à chaleur, déploiement et utilisation des réseaux de chaleur et augmentation du taux d'incorporation de biogaz).
3. Mobilisation des acteurs hors-ménages (décarbonation plus rapide du parc de l'État et des bailleurs sociaux, renforcement de l'accompagnement des collectivités et entreprises).
4. Principale incertitude : rythme de la construction neuve (analyse coût-bénéfice entre les émissions à la construction et les gains sur la durée de vie du bâtiment, par rapport à un bâtiment déjà existant ; conflits avec les objectifs de zéro artificialisation nette).

b. Besoins d'investissements

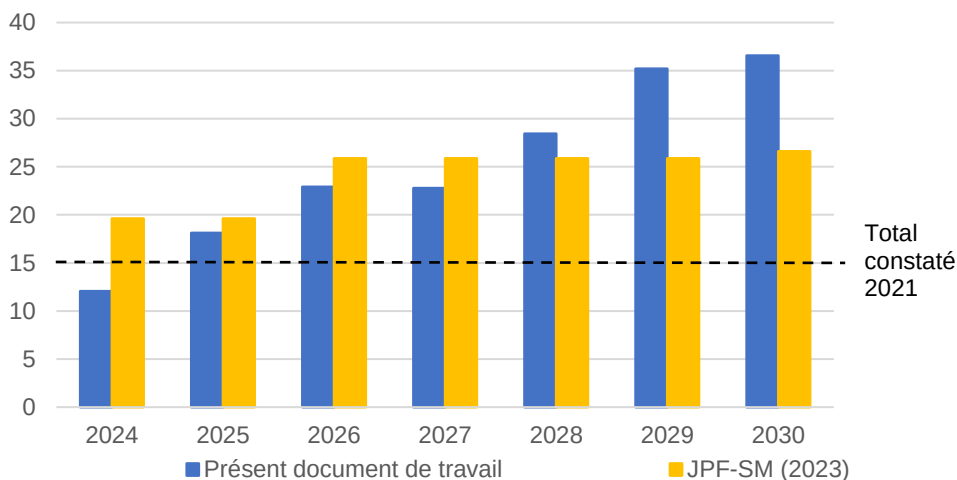
Les investissements climat du secteur s'élevaient en 2021 à 43 Md€ (I4CE 2023), dont, à l'arrondi près, 23 Md€ dans l'isolation et le chauffage des bâtiments neufs et 21 Md€ dans la rénovation énergétique (dont 5 Md€ pour le tertiaire).

Les besoins d'investissements supplémentaires bruts dans la rénovation des bâtiments sont estimés entre environ +15 et +43 Md€/an en 2030 selon les scénarios (entre +13 et +33 Md€/an en moyenne 2024-2030), dont environ +5 à +22 Md€/an dans le tertiaire. Les besoins totaux dans le résidentiel seraient plafonnés à +22 Md€/an dans le cas de rénovations ciblées vers des gestes coûts-efficaces.

Les estimations varient en fonction du scénario plus ou moins ambitieux considéré (rythme et type de rénovation) et du contrefactuel retenu : l'Institut Rousseau (2022) retient un ordre de grandeur de +21 Md€/an, I4CE (2023a) a plus récemment révisé ses estimations à entre +15 et +33 Md€/an, quand Rexecode (2022) estime les besoins supplémentaires à +43 Md€/an en moyenne jusqu'en 2030 du fait d'une mobilisation de leviers plus ambitieux (sortie des passoires thermiques avant 2030 et passage en étiquettes énergétiques A et B avant 2050) et la considération d'un scénario de référence moins allant, avec des besoins qui diminueraient ensuite entre 2030 et 2050 dans ce scénario.

Sur la base d'un scénario combinant des rénovations globales de passoires thermiques et changements de chaudières des autres logements vers des pompes à chaleur qui permettent d'atteindre les objectifs de la SNBC3, le présent document de travail et la mission JPF-SM estiment les besoins totaux en 2030 à entre 27 et 37 Md€/an pour le résidentiel (entre 24 et 25 Md€/an lorsque considérés en moyenne 2024-2030), soit entre +12 et +22 Md€/an supplémentaires par rapport à 2021 si les investissements étaient orientés dès aujourd'hui vers les postes considérés (entre +9 et +10 Md€/an en moyenne 2024-2030).

Graphique 4 : Investissements bruts totaux non supplémentaires dans la rénovation des logements (Md€/an)



Source : Calculs des auteurs, Données JPF-SM avec recalculs des auteurs, I4CE (2023a).

Note de lecture : Les investissements estimés provisoirement en 2021 dans I4CE (2023a) sont supérieurs aux estimations de besoins en 2024 du présent document de travail, traduisant certainement le recours à des investissements actuels moins efficaces (par exemple des monogestes moins performants) ou la présence de coûts cachés supplémentaires non rapportés dans le coût des travaux (par exemple, immobilisation du bien). JPF-SM (2023) mobilise une trajectoire de rénovation *ad hoc* avec des rénovations concentrées en 2025 et 2026, basée sur celle suivie dans le premier tour de modélisation technique de la SNBC3. La trajectoire en propre du présent document traduit des rénovations plus progressives, priorisant les rénovations des logements chauffés au fioul, puis au gaz, et sans monogestes d'électrification du vecteur de chauffage sur les passoires thermiques. Elle est également établie sur des coûts de rénovation constatés *via* les données récentes de MaPrimeRénov, supérieurs aux coûts mobilisés dans JPF-SM (2023) et en différenciant les coûts de rénovation des maisons individuelles et des logements collectifs.

Ces montants sont à considérer au regard des hypothèses sous-jacentes (contrefactuel, scénario de transition) mais également du périmètre retenu, les montants variant selon que l'on considère les besoins d'investissements bruts pour la décarbonation, les besoins nets de réorientation d'investissements au sein du secteur – y compris ceux non favorables à la décarbonation, ou les surcoûts totaux de ces investissements par rapport à des investissements à même usage mais non décarbonés (ex : installation de chaudières au gaz), ou enfin en comptabilisant ou non les potentielles économies liées à la facture d'énergie sur la durée de vie de l'investissement :

- Selon les scénarios de transition, la baisse des investissements dans les postes bas-carbone de la construction neuve, souvent retenue pour respecter les objectifs d'artificialisation des sols, conduirait à modérer le surplus d'investissement total nécessaire dans le secteur pour atteindre les objectifs environnementaux, conduisant alors à une réorientation de la nature des investissements au sein du secteur. Les besoins supplémentaires nets de cette baisse à l'échelle du secteur pourraient même être quasiment nuls pour les scénarios les plus sobres en construction (I4CE 2023a).
- Les économies sur la facture énergétique dans la rénovation du résidentiel pourraient par ailleurs abaisser le surcoût total pour les acteurs sur la durée de vie de l'investissement. Elles pourraient atteindre jusqu'à 10 Md€/an à l'horizon 2030¹⁸ ;

¹⁸ De nombreuses difficultés résident dans l'intégration des modifications des comportements de consommation énergétique suite à la réalisation des travaux de rénovation, en particulier de l'effet rebond, qui est ici fixé uniformément à 25 % (conformément aux hypothèses de la Commission Cricui), sur les gestes de rénovation globale uniquement. Les économies obtenues représentent un majorant des résultats des différentes études disponibles.

- La considération des surcoûts par rapport à des investissements de renouvellement des chaudières thermiques de toute façon consentis dans un scénario tendanciel sans décarbonation diminuerait également les montants d'investissements finaux d'environ 6 Md€/an en 2030 selon JPF-SM (2023).

Les besoins bruts supplémentaires dans le tertiaire seraient compris entre +5 et +22 Md€/an mais restent incertains. Ces besoins sont moins étudiés à l'heure actuelle que ceux relatifs à la rénovation du résidentiel. La fourchette d'incertitude tient notamment aux différences d'efforts portés sur le secteur, aux hypothèses de coûts de rénovation et de respect des obligations du décret Éco Énergie Tertiaire (DEET), ainsi qu'à leur répartition dans le temps.

c. Principaux facteurs d'incertitude

Les montants estimés sont particulièrement sensibles aux hypothèses d'évolution des coûts des rénovations, de qualité effective des travaux, de comportements de consommation (risque d'effet rebond post-rénovation) ou encore de coût des matériaux pouvant par exemple être rehaussés à court terme par une forte demande ou des chocs conjoncturels (impacts de la crise Covid et de la guerre en Ukraine sur les chaînes d'approvisionnement, etc.). Cette incertitude concerne également les capacités d'industrialisation de la rénovation à grande échelle.

Plus spécifiquement, les coûts d'abattement des rénovations varient fortement selon les logements. C'est ce que montrent les travaux de la Commission Criqui (France Stratégie)¹⁹ avec des coûts d'abattement très hétérogènes en fonction des caractéristiques des logements (surface, mode de chauffage, etc.)²⁰ et de l'étiquette énergétique visée. Ces estimations sont aussi dépendantes de la mise en œuvre de rénovations efficaces en pratique et des effets rebond prévalant suite à la rénovation des passoires thermiques.

Au vu de l'importance du coût d'investissement, le déclenchement des rénovations est incertain et déterminera la trajectoire effective de rénovation. Les ménages modestes sont confrontés à une faible disponibilité de capital et des contraintes de liquidité voire de crédit.

De fortes tensions sur la disponibilité de la main d'œuvre de rénovation pourraient obérer l'augmentation du rythme de rénovations. Le secteur est déjà confronté au manque de main d'œuvre, ralentissant la politique d'aide à la rénovation, notamment des logements individuels.

Plus largement, la trajectoire de construction neuve influera fortement sur les besoins d'investissements totaux du secteur. Une politique sobre, à la fois en demande et en offre de construction, permettrait de rediriger des montants importants vers les postes de rénovation.

¹⁹ France Stratégie, Les coûts d'abattement, Partie 5 – Logement.

²⁰ Les coûts d'abattements médians de la rénovation d'un DPE G vers B avec électrification du vecteur de chauffage peuvent passer de 35 €/tCO₂^{20ans} pour un logement au fioul, à 374 €/tCO₂^{20ans} pour un logement à chauffage électrique.

d. Acteurs concernés

Les émissions des bâtiments concernent pour plus de la moitié des logements privés, imposant des investissements de la part des ménages propriétaires, y compris les plus modestes. Les propriétaires peuvent aujourd'hui être accompagnés par des dispositifs²¹, pour certains ciblés vers les ménages modestes. Les propriétaires-bailleurs sont déjà confrontés à l'interdiction de location des passoires thermiques (2023 pour les logements les plus énergivores, 2025 pour le reste des logements G et 2028 pour les logements F). Une combinaison d'instruments de politiques publiques (taxe carbone, réglementations, subventions) aura un rôle clef pour le déclenchement des rénovations tout en assurant l'accompagnement des ménages. L'effet de levier²² des subventions à la rénovation accordées par l'Agence nationale de l'habitat est par exemple estimé à environ 3 pour les rénovations par gestes de propriétaires occupants en 2022 et 7 pour les rénovations globales. Il caractérise la part publique de l'investissement mais ne permet toutefois pas de conclure quant à l'additionnalité de la dépense publique, car il ne détermine pas l'effet déclencheur de l'existence du dispositif de soutien sur l'investissement de rénovation, ce qui nécessiterait une évaluation plus approfondie.

Les bailleurs sociaux gèrent environ cinq millions de logements, dont 10 % de passoires thermiques et seront particulièrement concernés par la rénovation du parc. Tout comme le parc lui-même, les logements énergivores sont concentrés : 10 % des bailleurs possèdent la moitié des passoires. En 2013, 54 % des logements sociaux étaient chauffés au gaz et 7 % par un autre vecteur carboné. Ils ont bénéficié aujourd'hui d'aides comme l'Éco-prêt au logement social.

Les collectivités comptent pour plus de 20 % des émissions du secteur du bâtiment et devront également participer aux efforts de rénovation, leur parc étant en partie soumis aux objectifs du décret éco-énergie tertiaire (DEET). 4 Md€ du Plan de relance ont été dédiés à la rénovation des bâtiments publics des collectivités et de l'État. Les collectivités seront également destinataires des financements de l'État prévus dans le cadre du fonds vert, doté de 2 Md€.

Enfin, de manière générale, les investissements dans la construction neuve sont encadrés par les réglementations énergétiques en vigueur (RE2020), impliquant des surcoûts à la construction par rapport à une situation réglementaire moins volontariste. Ces surcoûts peuvent se répercuter dans les prix d'achat des logements neufs auprès des futurs propriétaires-bailleurs.

²¹ MaPrimeRénov' – MPR – y compris MPR Sérénité, Eco-prêt à taux zéro, certificats d'économie d'énergie, etc.

²² L'effet de levier est défini comme le rapport entre les investissements totaux et ceux publics. Un cofinancement public à hauteur de 33 % correspond donc à un effet levier de 3.

Annexe sectorielle 1.1 – Détail des résultats*

Études	Contrefactuel	Scénario	Rénovation du résidentiel	Rénovation du tertiaire	TOTAL Rénovation	Construction neuve (isolation et chauffage)	TOTAL avec construction neuve	Remarques
Investissements climat historiques en 2021 (Md€)								
I4CE (2023a)			15	5	21 Md€	23	43 Md€	
Besoins climat supplémentaires bruts en 2030 [et en moyenne 2024-2030] (Md€/an)								
Focus résidentiel								
I4CE (2021)	Historique 2019-2020	SNBC2	[24] (+2 en rénovations partielles)		[24 Md€/an] (+2 en rénovations partielles)			En supposant des rénovations performantes uniquement
Présent document de travail	-	SNBC3 (Trajectoire JPF-SM)	En non supplémentaires : - Rénovations globales : 24 [17] - Monogestes : 13 [8]		En <u>non</u> <u>supplémentaires</u> : 37 Md€/an [25]			En priorisant les gestes les plus coûts-efficaces (sortie du fioul, puis gaz)
			Chiffrages complémentaires : Économies sur la facture énergétique en 2030 pour le résidentiel : au mieux -10 Md€/an, représentant environ la moitié % de la facture énergétique (majorant)					
Avec tertiaire								
JPF-SM (2023)	-	SNBC3	En non supplémentaires : 27 [24] - Rénovations globales : 14 [13] - Monogestes : 12 (surcoût : +6)	En non supplémentaires : 27 [27]	En <u>non</u> <u>supplémentaires</u> : 54 Md€/an [51]			Surcoût pour les monogestes (changement de vecteur de chauffage) : en nets p.r. à une chaudière fossile
ADEME (2022)	Prospectif 2021	S2 ADEME	NC	NC	+43 Md€/an [+33]			Modèle macroéconomique basé sur des signaux-prix fictifs et sur une rénovation coût-efficace
		S3 ADEME	NC	NC	+19 Md€/an [+13]			
Avec construction neuve								
I4CE (2023a)	Historique 2021	SNBC3 run2	+16 [+16]	+17 [+13]	+33 Md€/an [+29]	-12 [-8]	+21 Md€/an [+21]	Ralentissement de la construction neuve dû à la démographie
		S2 ADEME	+20 [+19]	+5 [+5]	+26 Md€/an [+24]	-15 [-13]	+11 Md€/an [+11]	Scénario sobre en construction neuve
		S3 ADEME	+8 [+7]	+7 [+7]	+15 Md€/an [+14]	+4 [+5]	+19 Md€/an [+19]	Scénario mobilisant des constructions de bâtiments très performants
Focus rénovation à l'horizon 2050								
Institut Rousseau (2022)	Tendanciel SNBC2	SNBC2	+15 pour 2050	+6 pour 2050	+21 Md€/an pour 2050			Rénovations étalées à l'horizon 2050
Rexecode (2022)	Tendanciel d'émissions historiques	SNBC2	+32 [+31] (+23 pour 2050)	+11 [+10] (+12 pour 2050)	+43 Md€/an [+42] (+35 pour 2050)			Rénovations plutôt volontaristes avant 2030

Annexe sectorielle 1.2 – Détail des études

I4CE (2023a) estime les investissements futurs nécessaires à la rénovation des logements privés (dont les logements sociaux) et des bâtiments tertiaires, ainsi que ceux liés aux surcoûts de la construction neuve respectant les réglementations de performance énergétique actuelles et anticipées pour le futur, sur la base d'hypothèses d'évolution du parc provenant de la littérature et des simulations des modèles sectoriels de la SNBC3. Dans son Panorama 2021, I4CE se limite à la rénovation du résidentiel du fait des incertitudes sur les hypothèses mobilisées pour le tertiaire et la construction neuve. I4CE y retient deux scénarios : l'un où les rénovations sont réalisées par étapes, pour lequel les besoins d'investissements sont déjà atteints aujourd'hui, et l'autre où elles sont complètes (*i.e.* atteinte du niveau BBC à l'issue), pour lequel le niveau actuel est très faible et les besoins supplémentaires très élevés (concentrés à court et moyen terme). Le scénario par étapes est moins ambitieux que celui de Rexecode, car les bâtiments n'atteignent pas le niveau d'étiquette énergétique B du Diagnostic de Performance Energétique (DPE) en 2050. Dans l'étude de 2023, I4CE réintègre la rénovation du tertiaire et les surcoûts de la construction neuve et calcule les besoins d'investissements associés au scénario de la SNBC3 et aux différents scénarios de l'étude Transition 2050 de l'ADEME.

L'institut Rousseau (2022) se base sur un scénario d'augmentation du rythme de rénovations (955 000 par an) et du passage de rénovations par gestes à des rénovations au niveau BBC uniquement, afin d'estimer un surinvestissement (*i.e.* des surcoûts publics et privés, nets de la réorientation des fonds vers d'autres activités) par rapport à un scénario tendanciel. L'étude n'inclut pas les économies sur la facture énergétique associées aux rénovations, qui peuvent jouer à la baisse sur les besoins d'investissements nets.

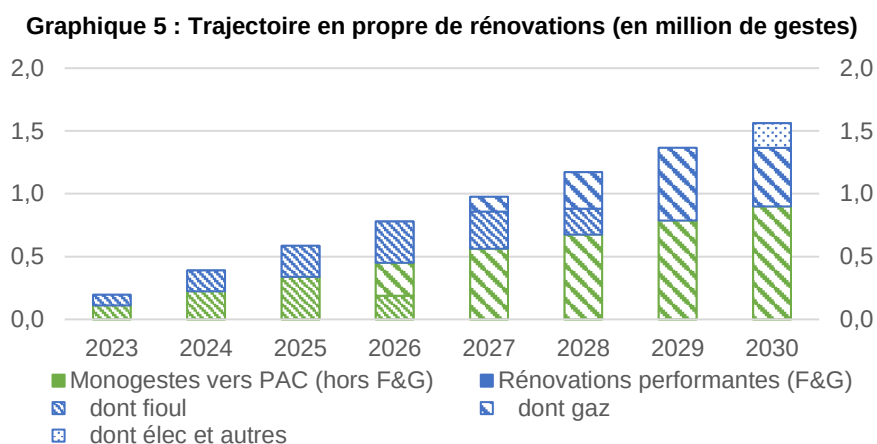
Rexecode (2022) modélise un scénario de rénovation ambitieux pour le résidentiel (DPE B en 2050), compatible avec la trajectoire de la SNBC2 et en déduit un surcoût par rapport à un scénario tendanciel. Celui-ci projette l'amélioration tendancielle de l'efficacité énergétique des logements constatée sur l'historique. Cette trajectoire tendancielle suppose que les logements neufs construits avant 2030 sont de classe A ou B, puis de classe A uniquement à partir de 2030. Dans le scénario compatible avec les objectifs de la SNBC2, les « passoires thermiques » sont toutes éliminées avant 2030 (classes énergétiques F et G) et les logements restants sont rénovés aux niveaux A ou B avant 2050. Les surinvestissements estimés dans le secteur résidentiel sont de l'ordre de 30 Md€/an jusque 2030 puis de l'ordre de 18 Md€/an de 2030 à 2050²³. La méthodologie suivie est similaire pour le tertiaire et le scénario compatible de transition y mobilise la rénovation (isolation et changements de systèmes de chauffage) de 3% des surfaces tertiaires totales chaque année (aboutissant à l'ensemble des surfaces rénovées en 2050). L'étude n'inclut pas les économies sur la facture énergétique.

L'ADEME (2022) comptabilise les investissements « verts » dans le bâtiment comme étant ceux en faveur de l'efficacité énergétique, pour les installations effectivement réalisées. Nous retenons ici une fourchette correspondant aux scénarios médians de l'étude Transitions 2050 (S2 et S3), qui mobilisent un ensemble de leviers à la fois comportementaux et technologiques.

Dans leur rapport de synthèse, **Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz (2023)** estiment les besoins d'investissements associés à la rénovation globale (isolation et changement de chaudière) de 1,6 M passoires au fioul et 1,5 M passoires au gaz, à parts égales vers du A ou B, et du C ou D, ainsi que les besoins associés au changement de $\frac{3}{4}$ des chaudières fioul existantes et d'un quart des chaudières gaz existantes vers des pompes à chaleur d'ici 2030. Ce scénario permettrait selon la mission d'atteindre les objectifs du run1 de la SNBC3. Les besoins sont des totaux bruts pour la rénovation globale. Pour les changements de vecteurs de chauffage, ils sont également exprimés en surcoût à l'alternative carbonée, en incluant le coût du renouvellement accéléré par rapport à un renouvellement tendanciel basé sur une durée de vie moyenne de 20 ans des chaudières.

²³ Le « saut » brutal à partir de 2030 est dû à l'objectif d'élimination des passoires thermiques avant 2030.

Dans le présent document de travail, nous estimons, pour les résidences principales uniquement, les investissements totaux associés à un scénario sensiblement similaire à celui utilisé par la mission Pisani Ferry - Mahfouz, sur la base de coûts constatés de rénovations globales et de changement de vecteurs²⁴ répartis selon les logements collectifs et les maisons individuelles. Une trajectoire de montée en puissance linéaire du nombre de monogestes et de rénovations globales est simulée.



Source : Calculs des auteurs.

Note de lecture : Nous mobilisons une montée en puissance des changements de vecteurs de chauffage (en vert) vers des pompes à chaleur (PAC) et des rénovations performantes avec transition vers PAC (en bleu). La trajectoire privilégie d'abord la rénovation des chaudières fioul (en hachuré fin), puis gaz (en hachuré large) et autres (en pointillés), sur la base de l'ordre d'efficacité des rénovations constaté dans la partie coûts d'abattement du [dernier Rapport sur l'impact environnemental du budget de l'État](#). La priorisation des rénovations performantes des passoires thermiques est basée sur les premières orientations de politiques publiques de rénovations rendues dans le cadre de la Planification écologique.

²⁴ Sources : ONRE (coûts monogestes), Données MaPrimeRénov' (coûts rénovations globales).

2.2 Chapitre 2 – Transports

Encadré 5 : Résumé des principaux résultats pour le secteur des transports

Les besoins d'investissements bruts supplémentaires dans les postes bas-carbone du secteur des transports sont estimés à entre +34 à +57 Md€/an en 2030 par rapport à 2021.

En 2021, ces investissements ont atteint 27 Md€, avec un bond conséquent de +11 Md€ par rapport à 2019. Les investissements supplémentaires considérés sont liés aux infrastructures de transport et de recharge ainsi que l'achat de véhicules bas-carbone. Pour les acquisitions de véhicules routiers bas-carbone, les surcoûts par rapport une alternative carbonée (véhicule thermique) d'un usage similaire seraient compris entre +4 et +13 Md€/an.

En intégrant les évolutions des investissements dans les véhicules thermiques, baissant dans la plupart des scénarios, les besoins d'investissements supplémentaires diminueraient fortement par rapport à ceux observés actuellement. La fourchette de résultats associés demeure toutefois large, car ces montants dépendent fortement des hypothèses de coûts, et du scénario retenu pour l'évolution du parc de véhicules particuliers, plus ou moins ambitieux en termes de report modal et de sobriété des usages.

Les hypothèses de sobriété jouent sur les investissements totaux puisque dans un scénario de moindre baisse d'immatriculations totales de véhicules, ils seraient supérieurs d'environ +13 Md€/an dans les véhicules électriques et +6 Md€/an dans les véhicules thermiques.

Enfin, en déduisant les économies liées à la facture d'énergie sur ces mêmes acquisitions de véhicules bas-carbone, le surcoût net pour les acquéreurs serait réduit sur la durée de l'investissement. Nous estimons les économies moyennes sur la facture énergétique réalisées sur la durée de vie des véhicules particuliers bas-carbone immatriculés entre 2024 et 2030 à environ 9 Md€/an, en comparaison à des acquisitions de véhicules thermiques d'usage équivalent.

Les surcoûts dans l'aviation et le maritime sont estimés à respectivement +1 et +2 Md€/an sur la base des feuilles de route sectorielles de la décarbonation des filières.

a. Cibles de réduction d'émissions et principaux leviers

Situation actuelle : En 2021, le transport représentait 30 % des émissions territoriales brutes de gaz à effet de serre (GES) en France et 51 % des émissions du secteur étaient attribuables aux ménages en 2019. En comptabilité Secten, utilisée pour rapporter les émissions au niveau national, les émissions attribuées au secteur excluent celles liées à la fabrication des véhicules, qui sont comptabilisées dans le secteur de l'industrie. Contrairement aux autres secteurs, les émissions du transport ont augmenté entre 1990 et 2019 (+9,5 %), portées par la hausse des déplacements. Elles ont ponctuellement baissé de 17 % en 2020 lors de la crise sanitaire, contribuant à elles seules à plus de la moitié de la baisse des émissions de GES sur l'année. Elles sont reparties à la hausse en 2021, et s'inscrivent plus récemment en baisse (-3 % entre le 3^e trimestre 2022 et celui de 2019). Si le budget carbone actuel devrait *a priori* être respecté du fait de la crise sanitaire, le premier budget carbone de la SNBC-1 n'a pas été tenu par le secteur (dépassement de 8 %), et le suivant (2024-2028) ne devrait ne pas l'être en suivant la tendance actuelle, en prenant en compte les mesures jusqu'en 2021.

Cible pour 2030 : La SNBC2 établit une cible de diminution d'émissions du secteur à 99,4 MtCO₂eq en 2030 (-20 % par rapport à 1990), nécessitant une diminution de -2,6 % par an entre 2021 et 2030. En intégrant le nouveau rehaussement d'objectif de la France pour 2030 à 50 % de réduction d'émissions de GES par rapport à 1990 (contre -40 % dans la SNBC2), et en supposant une répartition homogène de ce surcroît d'effort national de 10 pts par secteur (la SNBC3 aura la charge de répartir plus finement cet effort), l'objectif du secteur passerait à 87 MtCO₂eq en 2030, nécessitant un rythme de -4 % d'émissions par an entre 2021 et 2030, soit un rythme moyen de diminution d'émissions plus de 2,5 fois supérieur à celui du

secteur en 2015 et 2021 (-1,5 %/an). La révision récente de la performance du puits national forestier de stockage de carbone à la baisse rehausserait encore la cible de décarbonation de tous les secteurs.

Postes d'émissions : En 2021, 97 % des émissions de GES induites par les transports proviennent du CO₂ issu de la combustion de carburants. Les transports routiers contribuent à la quasi-totalité (95 %) des émissions du secteur des transports, hors transports maritime et aérien internationaux. Les émissions liées à la circulation routière incombent majoritairement aux véhicules particuliers (52 % en 2021), aux poids lourds (27 %) et aux véhicules utilitaires légers (18 %)²⁵.

Principaux leviers de décarbonation : la stratégie nationale bas carbone actuelle (SNBC2), comme les échanges pour l'élaboration des feuilles de route sectorielles de la décarbonation des chaînes de valeur des transports, identifient ces principaux leviers de décarbonation :

1. Décarbonation du parc (électrification des motorisations, augmentation de l'efficacité des motorisations thermiques restantes et incorporations de carburants alternatifs, développement des infrastructures de recharge, réduction de la masse des véhicules).
2. Accompagnement du report modal (marche, vélo, transports collectifs, régénération du réseau ferroviaire).
3. Gestion de la demande de mobilité et changement d'usage (augmentation du taux d'occupation, réduction des trajets – ex : télétravail, planification en matière d'urbanisme).

b. Besoins d'investissements

Les investissements en faveur du climat dans le secteur des transports s'élèvent à 26 Md€ en 2021 (I4CE, 2023a), principalement concentrés dans les véhicules particuliers bas-carbone (12 Md€) et les infrastructures de transports (4 Md€ dans le ferroviaire et 8 Md€ dans les transports en commun urbains).

Les études estiment à entre +34 et +57 Md€/an en 2030 les besoins d'investissements bruts supplémentaires dans les postes bas-carbone du secteur des transports par rapport à 2021 (entre +16 et +36 Md€/an en moyenne 2024-2030), correspondant aux dépenses totales d'acquisition en véhicules bas carbone et infrastructures de transport et de recharge.

Les besoins pour les véhicules routiers uniquement sont compris entre +34 et +43 Md€/an. Nous les estimons à +34 Md€/an par rapport à 2021 sur la base d'une version révisée du premier tour de modélisation technique de la SNBC3. En reprenant des chroniques de coûts plus élevées à l'horizon 2030, I4CE (2023a) et JPF-SM (2023, avec recalculs des auteurs) les estiment à entre +39 et +43 Md€/an. Ils atteindraient entre +23 et +29 Md€/an lorsque pris en moyenne 2024-2030.

Les besoins supplémentaires sont concentrés dans les véhicules particuliers, qui représentent entre +27 et +33 Md€/an (entre +15 et +21 Md€/an lorsque considéré en moyenne 2024-2030). Les véhicules utilitaires légers et les poids lourds représentent entre +7 et +12 Md€/an (+5 à +8 Md€/an lorsque pris en moyenne 2024-2030).

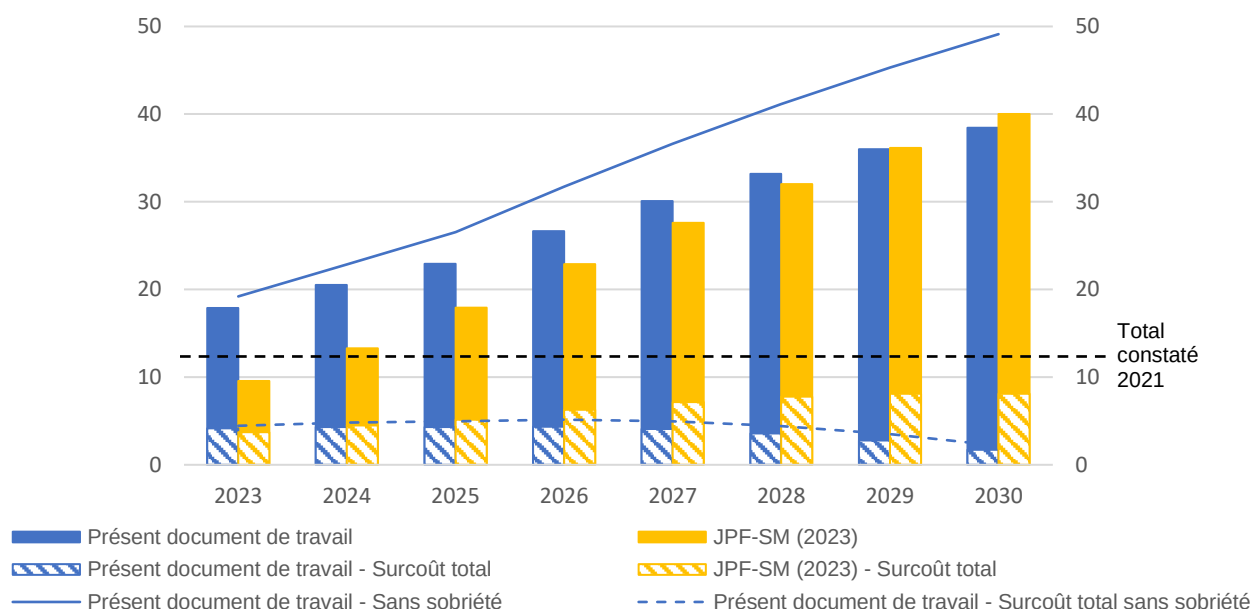
²⁵ Source : Données Citepa, format Secten 2022.

Encadré 6 : L'approche « en surcoûts » des investissements à l'achat

Les besoins d'investissements supplémentaires bruts dans l'électrification des véhicules routiers seraient compris entre +34 et +43 Md€/an selon le présent document de travail, la mission JPF-SM et le I4CE (2023a). Nets des investissements qui auraient été de toute manière consentis dans l'achat d'un véhicule thermique, ces besoins supplémentaires seraient réduits à entre +4 et +13 Md€/an en 2030.

En retenant un rythme d'électrification plus ambitieux mais plus tardif, les surcoûts du passage à des véhicules bas-carbone seraient limités pour les véhicules particuliers à +3 Md€/an d'après Rexecode, avant d'augmenter à l'horizon 2050 : par rapport à un tendanciel moins bien disant et suivant une électrification plus tardive, ils pourraient s'accélérer à l'approche de 2050 en atteignant des surcoûts de +10 Md€/an dans Rexecode (2022). Le surcoût dans les véhicules utilitaires légers et les véhicules lourds serait bien plus conséquent : +14 Md€/an d'ici 2030 et +17 Md€/an d'ici 2050 dans Rexecode (2022). Il est porté par une plus faible baisse de la demande en véhicules, et des hypothèses de prix des véhicules bas-carbone plus élevés.

Graphique 6 : Investissements bruts totaux (non supplémentaires) et en surcoût, dans les véhicules particuliers bas-carbone (Md€/an)



Source : Calculs des auteurs, Données JPF-SM (2023) avec recalculs des auteurs.

Note de lecture : Les différences entre les montants totaux s'expliquent par le fait que JPF-SM (2023) considère un nombre d'immatriculations légèrement plus faible et n'inclut pas l'achat de VHR. Cet écart est en partie compensé par des prix d'achat très légèrement plus faibles pour notre chiffrage en propre. Les écarts entre les trajectoires de surcoûts totaux à l'achat s'expliquent par un surcoût unitaire plus faible dans notre chiffrage à l'horizon 2030 pour un véhicule électrique par rapport à un véhicule thermique (environ 1 500 €, contre 7 000 € pour JPF-SM (2023)).

Les besoins pour les infrastructures de transport ferroviaire et de recharge des véhicules bas-carbone sont compris entre +6 et +15 Md€/an. La plupart des études s'appuient sur les chiffrages d'I4CE, qui sont les plus détaillés à ce jour.

Encadré 7 : Les scénarios du Conseil d'orientation des infrastructures (COI)

Dans son rapport de décembre 2022, le Conseil d'orientation des infrastructures (COI) estime les besoins de financements associés à plusieurs scénarios à +10 Md€/an en moyenne pour 2030 dans les infrastructures de transport et par rapport au dernier quinquennat (COI, 2022).

Toutefois, ces chiffrages ne se limitent pas aux seuls besoins de décarbonation, et incluent des besoins sociaux, territoriaux et industriels liés à la mobilité. Par ailleurs, ils concernent un périmètre partiel puisqu'ils sont limités aux infrastructures de transport, hors infrastructures de recharge. À ce titre et compte tenu de la difficulté de déduire dans ces scénarios la seule part liée à la décarbonation, les estimations du COI ne sont pas incluses dans le tableau ci-dessous.

Enfin, les besoins pour la décarbonation des secteurs maritime et aérien restent à l'heure actuelle très peu documentés. Nous reprenons ici les chiffrages des scénarios des feuilles de route sectorielles de la décarbonation des filières, établies en cohérence avec l'article 301 de la loi Climat et Résilience. Ils sont estimés à au moins +1 Md€/an de recherche opérationnelle pour le secteur aérien et +2 Md€/an de surcoûts à l'horizon 2030 pour le maritime. Dans notre chiffrage en propre, ces besoins supplémentaires sont ajoutés aux résultats des transports routiers et ferroviaires.

Ces estimations varient donc en fonction :

- i) Du scénario plus ou moins volontariste considéré sur le mix entre bas-carbone/fossile du parc de véhicules ;
- ii) De la trajectoire du parc total de véhicules considérée, et ainsi des hypothèses plus ou moins volontaristes de report modal et de sobriété des déplacements : la plupart des scénarios de transition, retenant un important report modal et une plus grande sobriété des usages, conduisent à une baisse des immatriculations totales de véhicules particuliers (tous types confondus) par rapport à aujourd'hui. Nous estimons à ce titre que dans le cadre d'un scénario à tendanciel de hausse inchangée du nombre d'immatriculations, les investissements bruts seraient supérieurs de +13 Md€/an pour les véhicules électriques et +6 Md€/an pour les véhicules à motorisation thermique fossile.
- iii) Des hypothèses technologiques retenues, par exemple sur la légèreté des véhicules et les faibles coûts capacitaires des batteries, qui jouent sur le prix à l'achat des véhicules. I4CE (2023a) et JPF-SM (2023) mobilisent des hypothèses de prix plutôt faibles des véhicules utilitaires et poids lourds électriques, qui décroissent toutefois faiblement à l'horizon 2030 ;
- iv) Le contrefactuel retenu (par rapport à un point de référence une année donnée, ou à un scénario tendanciel) : dans son Panorama 2023, I4CE retient des besoins supplémentaires de +49 Md€/an pour la SNBC3 par rapport au niveau de 2021, année où les investissements climat ont été rehaussés suite à la reprise d'activité post-Covid et aux soutiens publics apportés par France Relance (+11 Md€ investis en 2021 dans la décarbonation des transports par rapport à 2019). Retenir l'année 2021 en année de référence suppose alors le maintien dans le temps de ce niveau d'investissement, ce qui est optimiste compte tenu d'une partie de ressort conjoncturel du sursaut observé.

Enfin, les économies sur la facture énergétique liées au passage du véhicule thermique à l'électrique devraient abaisser le surcoût total des investissements supplémentaires à réaliser sur la durée de vie de ces derniers. À titre indicatif, sur la base des hypothèses du premier tour technique de la SNBC3, notamment de prix des carburants et de l'électricité, nous évaluons les économies moyennes sur la facture énergétique à environ 9 Md€/an pour les véhicules immatriculés entre 2024 et 2030, correspondant aux gains réalisés sur la durée de vie des véhicules particuliers électriques et hybrides rechargeables immatriculés sur la période considérée, en comparaison à des acquisitions de véhicules thermiques d'usage équivalent.

Ces montants sont donc à considérer au regard des hypothèses sous-jacentes (contrefactuel, scénario de transition) mais également du périmètre retenu, les montants variant selon que l'on considère les besoins d'investissements bruts pour la décarbonation, les besoins nets d'investissements au sein du secteur – y compris ceux non favorables à la décarbonation, ou les surcoûts totaux de ces investissements en comptabilisant ou non les potentielles économies liées à la facture énergétique sur la durée de vie de l'investissement.

c. Principales limites et incertitudes

Les hypothèses retenues concernant la demande totale de véhicules jouent fortement sur les montants d'investissements finaux. Elles sont très dépendantes de la mobilisation des leviers comportementaux et de leur efficacité.

Par ailleurs, les coûts d'achat des véhicules sont fortement dépendants de l'inflation des poids des véhicules et des coûts capacitaires des batteries, comme en témoigne la différence de plus de +10 Md€/an entre les scénarios de I4CE (2023a) et ceux mobilisés par les auteurs de ce document de travail. Ces projections restent aujourd'hui très incertaines dans un contexte où le poids des véhicules ne semble pas diminuer drastiquement et où l'atteinte des hypothèses de progrès technique et de disponibilité des matériaux critiques ne sont pas garanties. L'inflation conjoncturelle suite à la période post-Covid joue également fortement à la hausse sur les prix d'achat constatés des véhicules.

Enfin, les trajectoires anticipées des prix de l'énergie jouent sur les économies sur la facture énergétique. Les trajectoires de prix des carburants fossiles, comme ceux de l'électricité, pourraient s'avérer très volatiles, alors que leur différence joue sur les surcoûts nets de la transition.

d. Acteurs concernés

Les investissements dans les véhicules bas-carbone concernent tous les acteurs (ménages, entreprises et administrations publiques). Les acteurs les plus affectés seront notamment les ménages dépendants de la voiture particulière, ou encore les entreprises du transport routier et les secteurs économiques très utilisateurs de véhicules non routiers (véhicules agricoles ou pour le bâtiment). L'achat de véhicules représente aujourd'hui environ 3 % du budget des ménages (en lissant la dépense) mais nécessite un investissement initial en capital important. Les entreprises seront également affectées par la nécessité de remplacement des flottes, en anticipation de l'interdiction des véhicules thermiques à venir et afin de respecter les quotas de renouvellement mis en place par la loi d'orientation des mobilités de 2019. Les acteurs avec la plus faible capacité d'investissement (ménages modestes, notamment les plus dépendants comme les ruraux, et entreprises à faible rentabilité) seront les plus vulnérables face à cette transition.

Les économies sur la facture énergétique et sur la maintenance des véhicules électriques ouvrent toutefois la voie à un amortissement de l'investissement dans les véhicules bas-carbone. L'utilisation des véhicules et les factures de carburants représentent aujourd'hui plus de 8 % du budget des ménages. La prise en compte des économies futures sur la facture énergétique, en moyenne trois fois moindre pour un véhicule particulier bas-carbone que pour une motorisation thermique fossile (selon les hypothèses actuelles), permet de rentabiliser une partie du surcoût à l'acquisition sur la durée de vie du véhicule bas-carbone.

Annexe sectorielle 2.1 – Détail des résultats

Études	Contrefactuel	Scénario	Infras. de transport ²⁶	Infras. de recharge & ravitaillement	VP bas-carbone ²⁷	VUL, PL, autobus et autocars bas-carbone	Bateaux et avions	TOTAL bas-carbone	Véhicules thermiques	TOTAL bas-carbone et thermiques	Remarques
Investissements climat historiques 2021 (Md€)											
I4CE (2023a)			13	1	12	1		27 Md€	55	82 Md€	
Besoins climat supplémentaires bruts en 2030 [et en moyenne 2024-2030] (Md€/an)											
Rexecode (2022)	Scénario tendanciel	SNBC2		+3 [+2] (+3 pour 2050)	Surcoût : +3 [+2] (+10 pour 2050)	Surcoût : +14 [+10] (+17 pour 2050)		Surcoût : +19 Md€/an [+13] (+32 pour 2050)			Surcoût à l'acquisition - Scénario à transition tardive et sans baisse de la demande.
ADEME (2022)	Prospectif 2021	S2 ADEME	NC		NC	NC		+34 Md€/an [+16]	NC	NC	
		S3 ADEME	NC		NC	NC		+51 Md€/an [+23]	NC	NC	
I4CE (2023a)	Historique 2021	SNBC3 run2	+12 [+7]	+3 [+1]	+33 [+21] Surcoût : +9	+10 [+6] Surcoût : +2*		+57 Md€/an [+36] Surcoût : +27*	-32 Md€/an [-16]	+17 Md€/an [+14]	Augmentation du trafic, mais plus faible sur les véhicules non légers
		S2 ADEME	+6 [+6]	+3 [+2]	+29 [+21] Surcoût : +9	+10 [+7] Surcoût : +4*		+48 Md€/an [+36] Surcoût : +20*	-28 Md€/an [-15]	+20 Md€/an [+21]	Recours à la sobriété (diminution du parc) – Scénario reposant sur l'utilisation d'H ₂
		S3 ADEME	+3 [+3]	+6 [+4]	+31 [+21] Surcoût : +10	+11 [+8] Surcoût : +3*		+51 Md€/an [+35] Surcoût : +20*	-18 Md€/an [-6]	+33 Md€/an [+29]	Moins forte percée des VP électriques avant 2030.
Présent document de travail	Historique 2021	AMS run-1 bis SNBC3			+27 [+18] Surcoût : +2	+7 [+5] Surcoût : +2*	Surcoût : +3	+37 Md€/an [+26] Surcoût : +6*	-29 Md€/an [-13]	+5 Md€/an [+10]	La fourchette pour les VUL et PL correspond à deux jeux d'hypothèses de coûts.
					Chiffrages complémentaires : - Différences d'investissements bruts entre un scénario à évolution tendancielle du nombre d'immatriculations (i.e. sans hypothèses comportementales et report modal supplémentaire) et un scénario avec sobriété (i.e. un scénario avec baisse relative des immatriculations) en 2030 : -13 Md€/an en véhicules électriques et -6 Md€/an en véhicules thermiques. - Economies moyennes sur la facture énergétique liées à l'électrification des véhicules particuliers (en surcoût) immatriculés entre 2024 et 2030 : au mieux -9 Md€/an.						
JPF-SM (2023)	Historique 2021	AMS run 1 bis SNBC3	+4	+2	+28 [+15] Surcoût : +8	+12 [+6] Surcoût : +4*		+46 Md€/an [+28] Surcoût : +19*	-27 Md€/an [-12]	+19 Md€/an [+10]	Chiffrages véhicules issus de recalculs des auteurs.

*Hors surcoûts pour Autobus et Autocar.

²⁶ En commun urbain, ferroviaires, aménagements cyclables, fluvial.

²⁷ Électricité (VEB et VHR) GNV et bioGNV, hydrogène, vélo.

Annexe sectorielle 2.2 – Détail des études

I4CE (2023a) couvre les surcoûts d'investissements dans le réseau ferré dont l'État est propriétaire ainsi que dans les tronçons concédés, dans les lignes de métros, de bus et de tramways et dans les infrastructures de recharge pour carburants alternatifs (électricité, gaz naturel – gaz naturel à usage véhicules (GNV)²⁸ et dihydrogène (H₂)). Sont également comptabilisés les aménagements cyclables, les vélos, les voitures particulières bas-carbone (véhicules électriques à batterie, hybrides rechargeables (VHR) et scooters électriques), les véhicules utilitaires légers (VUL) et poids-lourds (PL) bas-carbone (VUL et PL électriques, à H₂ et GNV) et autobus et autocars bas-carbone (électriques, à H₂ et GNV). Les économies sur la facture énergétique ne sont pas incluses, ni les investissements dans le maritime et l'aérien.

Rexecode (2022), construit un scénario tendanciel prolongeant les tendances historiques (pré 2018) d'évolution du parc de véhicules, concernant notamment l'efficacité énergétique et les motorisations des véhicules neufs²⁹, et ne tenant pas compte de l'objectif de fin de vente des véhicules thermiques neufs en 2035. En comparaison, le scénario de transition modélise une forte accélération de la pénétration des véhicules électriques dans le parc. Le surcoût d'investissement par rapport au scénario tendanciel est calculé comme celui nécessaire au passage du tendanciel climatique à un scénario respectant nos objectifs³⁰. Cette évaluation inclut à ce titre des redirections d'investissements au niveau agrégé (montant des véhicules thermiques réalloué au profit de l'électrique). Les investissements dans les infrastructures de recharge permettant l'utilisation des véhicules utilitaires de transport professionnels ne sont pas chiffrés et les économies sur la facture énergétique ne sont pas incluses.

Dans le présent document de travail, nous réalisons une estimation besoins d'investissements en propre afin d'estimer la sensibilité des résultats par rapport à la méthode retenue par I4CE, en partant des coûts d'investissements à l'achat dans le secteur des transports routiers³¹. Elle a également évalué l'ordre de grandeur des économies pouvant être réalisées sur la facture énergétique liées à l'acquisition de véhicules électriques plutôt que thermiques. Les investissements totaux et économies sur la facture énergétique sont basés sur les hypothèses d'évolution des prix de l'énergie et d'immatriculations des véhicules du premier tour technique de la SNBC3 (run 1), en cours d'élaboration (hypothèses provisoires).

Dans leur rapport de synthèse, **Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz (2023)** estiment les besoins d'investissements associés à l'électrification des véhicules de transport routier, aux infrastructures de recharge associées et à la construction de nouvelles infrastructures de transport ferroviaire. Ce scénario permettrait selon la mission d'atteindre les objectifs du run1 de la SNBC3. Afin de pouvoir comparer les montants aux autres études, les chiffres présentés sont issus de recalculs des auteurs.

²⁸ Le caractère « vert » du GNV n'est pas établi (notamment le gain de GES en cycle de vie du passage au GNV). Si les Opex étaient considérés, il conviendrait de ne considérer comme investissement climat que la part dédiée au bioGNV.

²⁹ Le tendanciel aboutit à 30 MtCO_{2eq} en 2050 (en 2019 : 72 MtCO_{2eq}), loin de la cible SNBC2 du secteur (5 MtCO_{2eq}).

³⁰ En prenant un *surcoût* à l'achat de 12 000 € et 4 000 € pour les véhicules électriques et hybrides respectivement, par rapport aux véhicules thermiques, 250 000 € pour les autobus et autocars, 7 000 € pour les camionnettes, 25 000 € pour les camions légers, 50 000 € pour les véhicules spéciaux et 250 000 € pour les tracteurs routiers.

³¹ Pour les véhicules particuliers : les prix des véhicules électriques sont basés sur la moyenne des prix d'appel en France en 2022 et pour les véhicules hybrides rechargeables, sur les prix de la Commission Cricui. Le prix des véhicules thermiques est basé sur le prix moyen constaté à l'Argus en 2022, en considérant un écart de 2 000 € entre les motorisations essence et diesel. Une baisse des prix à l'horizon 2030 est ensuite appliquée, identique à celle mobilisée par I4CE dans son Panorama 2022 pour le scénario S2 ADEME.

Pour les poids lourds : les prix des poids lourds électriques et thermiques sont basés sur les prix d'achat de poids lourds 16 tonnes hors TVA de Renault trucks.

Pour les véhicules utilitaires légers : un coût d'achat moyen de 28 000 € en 2022 toutes motorisations confondues est adopté sur la base des données de l'observatoire de la mobilité, puis un écart de prix identique aux véhicules particuliers est appliqué.

2.3 Chapitre 3 – Énergie

Encadré 8 : Résumé des principaux résultats pour le secteur de l'énergie

Les besoins d'investissements pour la décarbonation du secteur de l'énergie sont portés par la hausse des besoins de production d'électricité et de carburants bas-carbone, ainsi que dans les réseaux électriques (transport, distribution et flexibilité).

Les besoins supplémentaires d'investissement pour décarboner ce secteur pourraient atteindre entre +5 et +17 Md€/an en 2030 par rapport à la période récente pour atteindre les objectifs de la SNBC3 pour 2030, avant rehaussement prévu dans la SNBC3, ce dernier invitant à considérer que les besoins se rapprocheraient plutôt la borne haute en 2030. Ils varient selon les hypothèses retenues et sont les plus élevés dans les scénarios les moins sobres en consommation d'énergie. Les investissements constatés ont conjoncturellement augmenté en 2021 suite à la reprise post-Covid (19 Md€, soit +4 Md€ par rapport à 2019) et à l'effet prix de l'augmentation des coûts de production des EnR électriques. Ainsi, par rapport au niveau d'investissements rehaussé post-Covid, les besoins de court-terme pourraient diminuer jusqu'à être nuls selon les scénarios.

Les besoins moyens augmenteraient à l'horizon 2050 afin d'absorber la hausse de la demande en électricité, les projets de construction de nouveaux réacteurs nucléaires à l'horizon 2044 représentant déjà entre +2 et +3 Md€/an. Une forte incertitude subsiste toutefois sur les coûts de production futurs.

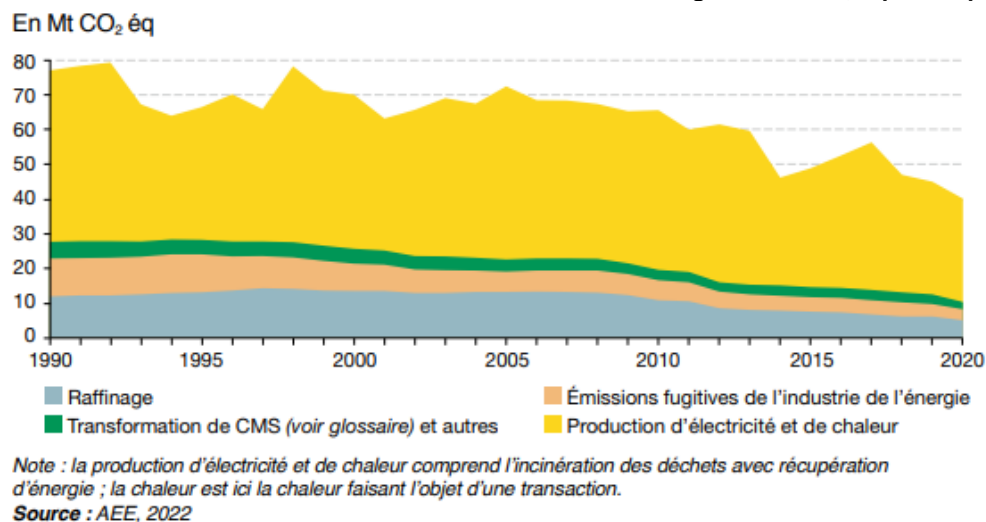
a. Émissions du secteur, objectif de réduction et principaux leviers de décarbonation

Situation actuelle : L'industrie de l'énergie comprend les émissions de la production (centrales électriques, production de chaleur, incinération de déchets avec récupération d'énergie), de la transformation (raffineries, transformation de combustibles minéraux solides, etc.) et de l'extraction et la distribution d'énergie (pétrole, gaz naturel, charbon, etc.). Les émissions de ce secteur ont diminué depuis 1990, notamment du fait du recours à l'énergie nucléaire et des réglementations visant les installations de production. En 2021, les émissions du secteur sont pré-estimées à environ 11 % des émissions brutes territoriales en France, moins de la moitié de la moyenne européenne. Toutefois les enjeux du secteur de l'énergie dépassent ceux relatifs uniquement à la production d'énergie puisque 67 % des émissions françaises brutes étaient dues en 2020 à l'utilisation d'énergie.

Cible pour 2030 : La SNBC2 établit une cible de diminution d'émissions du secteur à 31,3 MtCO₂eq en 2030 (-60 % par rapport à 1990), nécessitant une diminution de -3,7 % par an entre 2021 et 2030. En intégrant le nouveau rehaussement d'objectif de la France pour 2030 à 50 % de réduction d'émissions de GES par rapport à 1990 (contre -40 % dans la SNBC2), et en supposant une répartition homogène du surcroît d'effort national de 10 pts par secteur (la SNBC3 aura la charge de répartir plus finement cet effort), l'objectif du secteur passerait à 23,5 MtCO₂eq en 2030. Cela nécessiterait un rythme de -6,7 % d'émissions par an entre 2021 et 2030, soit un rythme moyen de diminution d'émissions plus de 3,5 fois supérieur à celui du secteur en 2015 et 2021 (-1,9 %/an). La révision récente de la performance du puits national forestier de stockage de carbone à la baisse rehausserait encore la cible de décarbonation de tous les secteurs, y compris de l'énergie. La PPE (programmation pluriannuelle de l'énergie) fixe les trajectoires de développement des différentes filières du mix énergétique français pour une période de 10 ans (2019-2028 pour la PPE-2 ; 2023-2032 pour la PPE-3 en cours de discussion). À titre d'exemple, la PPE-2 prévoyait le doublement des capacités de production d'électricité renouvelable installées en 2028 (102 à 113 GW) par rapport à 2017 ; une production de biogaz injecté dans le réseau entre 14 et 22 TWh en 2028 contre 0,4 TWh en 2017.

Postes d'émissions : Sur le territoire national, il subsiste 9 raffineries de pétrole, 12 centrales de production d'électricité à gaz et 2 à charbon dont la fermeture était prévue en 2022, mais dont le fonctionnement a été prolongé suite à la crise énergétique. En 2021, la production d'électricité représente la majeure partie des émissions du secteur (44 %), qui dépendent principalement des variations climatiques et de la disponibilité des filières bas-carbone. Le raffinage du pétrole, le chauffage urbain et la valorisation énergétique des déchets représentent pour chacun environ 17 % des émissions du secteur.

Graphique 7 : Évolution des émissions de GES de l'industrie de l'énergie en France, réparties par activité



Source : SDES, décembre 2022, Chiffres clés du climat.

Note de lecture : Les émissions liées à la transformation des CMS (combustibles minéraux solides, i.e. charbon et dérivés) sont, pour l'essentiel, liées à l'activité des cokeries.

Principaux leviers de décarbonation : l'actuelle Stratégie nationale bas carbone (SNBC2) et la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), complétée par les stratégies récentes en matière de politiques énergétiques, prévoient une hausse de la production d'électricité pour répondre à l'électrification des usages et identifient les principaux leviers de décarbonation du secteur :

1. Décarbonation et hausse de la production électricité :

- Soutien du développement des EnR électriques : accélération du développement du photovoltaïque, de l'éolien offshore et terrestre.
- Soutien à la production d'électricité bas-carbone hors EnR : prolongement de la durée de vie du parc nucléaire existant et accélération du développement du nucléaire.
- Sortie des modes de production d'électricité fortement carbonée : gaz et charbon.
- Soutien au développement de l'hydrogène bas-carbone.
- Investissements dans les flexibilités du réseau (stockage électrochimique, gestion dynamique de la demande, centrales pilotables décarbonées).

2. Hausse de la production de chaleur bas-carbone :

- Soutien au développement des réseaux de chaleur urbains bas-carbone (planification de la stratégie géothermie).
- Valorisation énergétique de la biomasse et des déchets (biogaz, biocarburants, chaleur renouvelable).

Le secteur sera aussi fortement impacté par l'évolution de la demande d'énergie hors électricité, et donc indirectement par l'action des leviers dans les principaux secteurs consommateurs, à titre d'exemples :

- Développement de la production de carburants issus de la biomasse (sécurisation de la ressource en biocarburants de 2^{ème} génération : développement de la filière de production et de raffinage).
- Développement de la production de carburants bas-carbone hors biomasse (soutien à la R&D et au développement des carburants de synthèse).
- Diminution de la consommation de vecteurs énergétiques fossiles (poursuite des politiques transversales de sobriété : baisse de la température de chauffage des bâtiments, maîtrise de la demande en transport, etc.).

La majorité des émissions du secteur est soumise au marché de quotas carbone européen (EU ETS) et à ces objectifs d'émissions fixés au niveau européen et révisés par le paquet Fit for 55. Le secteur est également soumis au rehaussement des objectifs européens d'incorporation d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie (45 % en 2030) suite à la révision du règlement RePowerEU.

b. Besoins d'investissements

Les investissements climat du secteur s'élèvent en 2021 à 18 Md€ (I4CE 2023a), provenant en majeure partie des investissements dans la production d'électricité renouvelable (6 Md€), complétés par ceux dans la flexibilisation des réseaux électriques (6 Md€), dans le parc nucléaire (5 Md€) et dans la production de biocarburants, de gaz et chaleur renouvelables (1 Md€). Ces investissements sont plus hauts de +4 Md€ que ceux de 2019 suite à la reprise d'activité post-Covid, aux soutiens publics apportés par France Relance notamment dans la filière solaire et à la hausse récente et conjoncturelle des coûts des projets d'EnR électrique.

Les besoins d'investissements climat bruts supplémentaires dans le secteur seraient compris entre +5 et +17 Md€/an en 2030 pour atteindre les objectifs de décarbonation de la SNBC3 dans I4CE (2023a), RTE (2023) et ADEME (2022). Ces estimations varient en fonction du scénario mobilisé, notamment des hypothèses de hausse de la consommation d'énergie par le reste de l'économie, de son électrification, mais aussi de l'incorporation de moyens de production d'électricité variables (éolien et photovoltaïque notamment). Les besoins moyens augmenteraient ensuite à l'horizon 2050 pour atteindre un minimum de +11 Md€/an du fait de l'électrification des usages conduisant à la hausse de la demande d'électricité selon Rexecode (2022) et Institut Rousseau (2022). Ces résultats, combinés à la forte hausse des contraintes d'électrification des secteurs liée à la hausse des contraintes de baisses d'émissions et à la baisse de stockage du puits forestier, invitent à considérer que les besoins du secteur en 2030 se rapprocheraient plutôt de la borne haute de la fourchette. Selon les scénarios considérés, le niveau cible d'investissements pour le climat pourrait même déjà être atteint par les investissements actuels dans les EnR électriques. Ces estimations font toutefois face à de fortes incertitudes liées à l'effet prix des hausses de coût d'installations de production conjoncturelles à la crise actuelle.

Encadré 9 : Les investissements dans le nouveau nucléaire

Dans le cadre du programme EPR2³², le gouvernement a évalué les coûts d'investissements dans la construction de 6 nouveaux réacteurs nucléaires qui a été décidée et dont le couplage au réseau des premiers réacteurs est estimé à l'horizon 2035. Ceux-ci sont estimés à 51,7 Md€, répartis sur une durée totale de construction de 25 ans, correspondant à des investissements annuels d'environ +2 Md€/an. Toutefois ces investissements ne seront certainement pas répartis de manière homogène dans le temps. Par ailleurs, le Président de la République a annoncé lors du discours de Belfort de février 2022 le lancement d'études pour la construction de huit EPR2 additionnels.

c. Principales limites et incertitudes

Les investissements dans la production d'énergie dépendront en premier lieu de la demande en énergie des autres secteurs, notamment des hypothèses de sobriété considérées. L'utilisation d'énergie représente 68 % des émissions de GES en France en 2019³³. Les usages de l'énergie irriguent tous les secteurs et la décarbonation de sa production dépendra des usages aval. Selon les scénarios considérés, les besoins supplémentaires varient fortement, notamment dans la production d'électricité renouvelable et les systèmes électriques.

La mobilisation de capacités supplémentaires de production suffisantes pour répondre à la forte hausse de la demande en énergie bas-carbone est incertaine, notamment du fait des contraintes du réseau mais également techniques et d'acceptabilité. La décarbonation des secteurs aval, qui repose notamment sur l'électrification des procédés, jouera à la hausse sur les capacités appelées. Cette hausse conséquente de la production devra être suffisante et est remise en question par la disponibilité du bâti, la rapidité de construction des infrastructures et la disponibilité de la main d'œuvre, ce qui pourra retarder les investissements. La stabilité des systèmes électriques, en particulier en période de tension, dépendra tant du taux d'incorporation des modes de production variable, que des investissements dans les moyens de stockage (batteries fixes, etc.).

³² Gouvernement (février 2022) [Travaux relatifs au nouveau nucléaire – PPE 2019-2028](#).

³³ SDES (2022), [Chiffres clés du climat – Édition 2022](#).

Encadré 10 : Le bouclage énergétique

L'exercice de modélisation de scénarios de transition est confronté à la difficulté du bouclage intersectoriel, notamment énergétique. Les études mobilisées ici suivent généralement les trajectoires de la SNBC2 ou des premiers tours techniques de modélisation de la SNBC3, qui garantissent une cohérence physique, en termes de bouclage énergétique. Les études macroéconomiques mobilisées essaient également de se rapprocher le plus possible de ces trajectoires de flux physiques. Ainsi, les scénarios mobilisés garantissent autant que possible le bouclage énergétique intersectoriel de la transition.

Toutefois, la plupart des modèles sectoriels de décarbonation n'internalisent pas le coût sur le système énergétique induit par différents leviers de décarbonation (isolation, électrification, etc.). En effet, ils raisonnent en équilibre partiel, en mobilisant des coûts exogènes du système énergétique.

Les incertitudes fortes sur les coûts de production empêchent d'établir une fourchette précise de besoins supplémentaires. En particulier, la hausse conjoncturelle des coûts de production d'EnR électriques a contribué à tirer à la hausse les estimations d'investissements climat historiques via un effet-prix. Les incertitudes sont également fortes sur les coûts de production futurs de l'électricité.

d. Acteurs concernés

Les capacités à mobiliser des investissements conséquents sur des projets intenses en capital (nucléaire, parc éolien, etc.) se poseront principalement pour l'État, ses opérateurs et les collectivités, ainsi que pour les énergéticiens. Les infrastructures concernées nécessitent des investissements en capitaux conséquents pour les acteurs publics, et pouvant être répercutés sur les factures énergétiques des ménages et entreprises. Le nouveau mix et les outils de financements mobilisés (fonds propres, partenariats public-privé, contrats de rémunération, base d'actifs régulés, etc.) feront varier le coût marginal de production et le prix d'achat de l'électricité, y compris à travers les tarifs de réseau.

Les contraintes en capacités de production supplémentaires de carburants bas-carbone imposeront également de répartir l'effort de décarbonation entre certains leviers non électrifiables (biocarburants, e-fuels, hydrogène, etc.).

Annexe sectorielle 3.1 – Détail des résultats

Étude	Contrefactuel	Scénario	Nucléaire	Production d'électricité renouvelable	Production de biocarburants, de gaz et chaleur renouvelables ³⁴	Réseau électrique et flexibilités ³⁵	TOTAL	Remarques
Investissements climat historiques en 2021 (Md€)								
I4CE (2023a)			5	6	1	6	18 Md€	
Besoins climat supplémentaires bruts en 2030 [et en moyenne 2024-2030] (Md€/an)								
Hors reprise post-Covid								
ADEME (2022)	Prospectif 2021	S2 ADEME		NC	NC	NC	+6 Md€/an [+6]	Investissements calculés sur l'énergie produite plutôt que les capacités installées
		S3 ADEME		NC	NC	NC	+12 Md€/an [+10]	
Rexecode (2022)	Scénario tendanciel	SNBC2	+5 [+3]	+4 [+4]	+1 [+1]	+4 [+3]	+13 Md€/an [+10]	Coûts de système basés sur une quote-part de 40 % des investissements totaux
RTE (2023)	–	Scénarios RTE	NC	NC		NC	En non supplémentaires : 25 à 35 Md€/an	Fourchette correspondant aux différents scénarios. Besoins dans les systèmes électriques uniquement, hors réseaux
Institut Rousseau (2022)	Scénario tendanciel	SNBC2	+5 pour 2050		+5 pour 2050 (yc hydrogène ³⁶)	+6	+16 Md€/an pour 2050	
Par rapport à la reprise post-Covid								
I4CE Panorama (2023a)	Historique 2021	SNBC3 run2	+1 [–0,1]	+4 [+4]	+1 [+2]	+5 [+5]	+12 Md€/an [+10]	Fortes incertitudes sur les investissements projetés, liées à l'effet prix. S3 : Moyenne des scénarios nucléaire et EnR.
		S2 ADEME	+0,2 [–0,5]	+0,2 [+0,1]	+1 [+1]	+3 [+2]	+5 Md€/an [+3]	
		S3 ADEME	+2 [+0,4]	–2 [–2]	+2 [+1]	+7 [+5]	+9 Md€/an [+4]	

³⁴ Biométhane uniquement pour I4CE.

³⁵ Rexecode (2022) étudie les réseaux de distribution et de transport de l'électricité et Institut Rousseau (2022) inclut aussi les moyens de flexibilité (nouvelles centrales biogaz et hydrogène). I4CE (2023a) comptabilise les infrastructures de flexibilité du réseau comme étant favorables au climat (électrolyseurs, méthanation, batteries statiques) et les investissements dans le réseau lui-même hors renouvellement et modernisation des réseaux existants. Pour raisonner à périmètre équivalent sur les différentes études, nous comptons ces derniers comme des investissements bas-carbone.

³⁶ Institut Rousseau (2022) inclut l'hydrogène au sein des « gaz verts » ou gaz renouvelable, contrairement aux autres études ne comptabilisant que les investissements dans le biométhane.

Annexe sectorielle 3.2 – Détail des études

I4CE (2023a) estime les investissements futurs nécessaires dans le secteur de la production d'électricité et de gaz bas-carbone et des réseaux de chaleur, le transport d'électricité et les flexibilités, sur la base d'hypothèses d'évolution des capacités de production compatibles avec la PPE actuelle de manière analogue aux cas du bâtiment et des transports.

L'ADEME (2022) estime les besoins d'investissements dans le secteur de l'énergie à l'aide d'une modélisation macroéconomique du modèle ThreeME, de même que pour les secteurs du bâtiment et des transports. Les investissements bas-carbone dans le secteur de l'énergie sont comptabilisés comme étant les investissements dans les capacités nucléaires, renouvelables (éoliennes, solaires et hydrauliques), et de production de biogaz et de chaleur renouvelable. Ils correspondent toutefois à la consommation de capital, qui est comptabilisée comme étant une fraction du coût de production moyen, et non pas aux coûts d'installation immédiats des infrastructures. Ceci impacte la chronologie de coûts, qui est plus tardive pour l'ADEME. Une fourchette correspondant aux scénarios 2 et 3 de l'étude Transitions 2050 est proposée.

RTE (2020) inclut les investissements dans les capacités de production renouvelable et nucléaire (dans les différents scénarios étudiés).

Rexecode (2022) utilise les hypothèses de surcoût de l'éolien, du solaire et du nucléaire, issues des rapports RTE, et de surcoût de chaleur renouvelable d'une précédente étude de l'ADEME³⁷, afin de calculer des surcoûts d'investissement associés. Le surcoût d'investissement associé aux réseaux de transport est calculé sur la base d'une quote-part de 40 % des surcroûts d'investissements totaux³⁸. Le mix électrique futur choisi dans le scénario respectant les objectifs de la SNBC correspond au scénario N2 du rapport RTE (construction de 14 EPR entre 2035 et 2050, rythme accéléré de déploiement de l'éolien et du solaire par rapport au scénario tendanciel) tandis qu'aucune construction de nouveau réacteur n'a lieu dans le scénario tendanciel (prolongation du nucléaire historique avec fermeture progressive).

L'Institut Rousseau (2022) estime les surcroûts d'investissement nécessaires pour la décarbonation quasi-totale (à 93 %) de la production d'énergie comme prévu par la SNBC2, via la production d'électricité bas-carbone et la substitution du gaz fossile par des gaz renouvelables (biométhane) ou bas-carbone (hydrogène). Les besoins de renforcement du système électrique et le développement des moyens de flexibilité permettant l'intégration de ces capacités (notamment renouvelable) sont également pris en compte. Les différents choix de mix électrique futurs considérés sont ceux du rapport RTE Futurs Energétiques 2050 (allant du 100 % renouvelable, au 50 % nucléaire en 2050 selon les variantes), et les estimations d'investissements sont présentées sous forme de moyenne sur les différents scénarios. La somme des surcroûts d'investissements moyens nécessaires pour la production d'électricité renouvelable et nucléaire sont estimés à 5 Md€/an par l'Institut Rousseau (+/-1 Md€ selon le mix de production choisi, parmi les variantes des scénarios RTE).

³⁷ « Coûts des énergies renouvelables en France », édition 2016, ADEME.

³⁸ Le coût des réseaux de transport et distribution dans le scénario N2 du rapport RTE représente en effet de l'ordre de 40 % des coûts complets annualisés du scénario. Un besoin d'investissement dans les réseaux de 40 % des besoins d'investissements additionnels totaux est donc appliqué, en proportion.

2.4 Chapitre 4 – Industrie

Encadré 11 : Résumé des principaux résultats pour le secteur de l'industrie

Les besoins d'investissements supplémentaires dans la décarbonation de l'industrie sont estimés à entre +2 et +3 Md€/an en moyenne 2024-2030 pour l'atteinte des objectifs de la SNBC2, par rapport au tendanciel de réduction d'émissions observé. Ils pourraient atteindre jusqu'à +5 Md€/an en 2030 pour l'atteinte de la SNBC-3, en incluant les dépenses opérationnelles (maintenance et dépenses énergétiques) qui sont très incertaines mais pourraient atteindre +1 Md€/an.

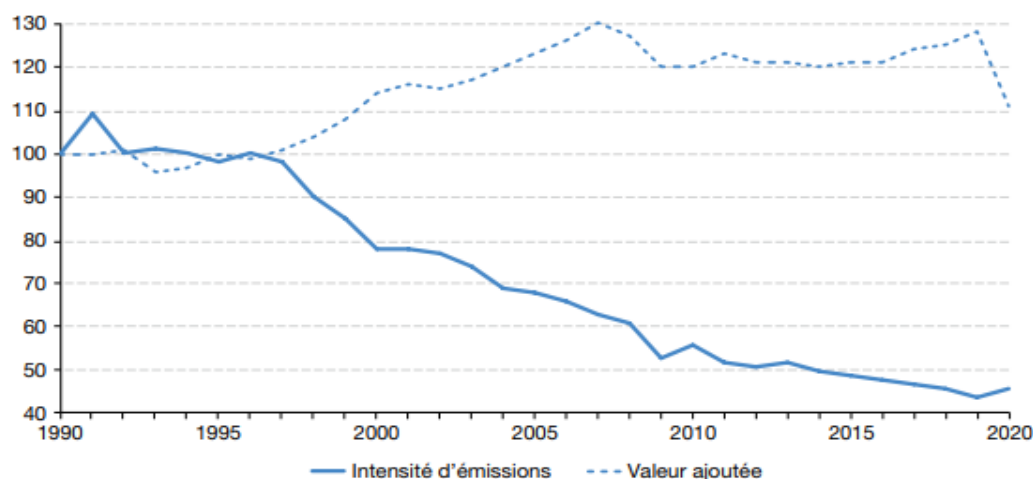
Il subsiste une forte incertitude sur les estimations d'investissements actuels dans la décarbonation de l'industrie (notamment sur l'inclusion de France Relance et France 2030 dans le tendanciel), obérant l'estimation des besoins supplémentaires par rapport à l'historique. La vision en surcoût nécessite également d'être affinée pour estimer la part de ces besoins qui pourra être financée par une réorientation des investissements des actifs bruns vers ceux bas-carbone.

a. Émissions du secteur, objectif de réduction et principaux leviers de décarbonation

Situation actuelle : En 2021, le secteur « Industrie manufacturière et construction » représentait 19 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) totales françaises, soit 79 MtCO₂eq. En comptabilité Secten, utilisée pour rapporter les émissions au niveau national, les émissions attribuées au secteur incluent celles liées à la construction neuve de bâtiments. Les émissions du secteur ont baissé de 45 % entre 1990 et 2021, grâce à la division par plus de deux de l'intensité carbone de la production, apportée en premier lieu par l'augmentation de l'efficacité énergétique et l'amélioration des procédés³⁹, en parallèle de la mise en place depuis 2005 du marché de quotas carbone européen (EU ETS). Suite à la reprise post Covid, les émissions du secteur ont connu un bond de +7 % entre 2020 et 2021.

Graphique 8 : Intensité d'émissions de GES dans l'industrie manufacturière et la construction en France

Indice base 100 en 1990



Note : les émissions sont rapportées à la valeur ajoutée de l'industrie manufacturière et la construction.

Sources : SDES, d'après Insee, 2021 ; Citepa, Secten, 2022

Source : SDES, décembre 2022, Les chiffres clés du climat.

Cible pour 2030 : La SNBC2 établit une cible de diminution d'émissions du secteur à 55,3 MtCO₂eq en 2030 (-61 % par rapport à 1990), nécessitant une diminution de -3,7 % par an entre 2021 et 2030. En intégrant le nouveau rehaussement d'objectif de la France pour 2030 à 50 % de réduction d'émissions de GES par rapport à 1990 (contre -40 % dans la SNBC2), et en supposant une répartition homogène du surcroît d'effort national de 10 pts par secteur (la SNBC3 aura la charge de répartir plus finement cet effort), l'objectif du secteur passerait à 41 MtCO₂eq en 2030, nécessitant -6,9 % d'émissions par an

³⁹ Faquet R. et Bornstein A. (2021), « La décarbonation de l'industrie en France », *Trésor-Éco*, n° 291.

entre 2021 et 2030, soit un rythme moyen de diminution d'émissions plus de 5 fois supérieur à celui du secteur en 2015 et 2021 (-1,2 %/an). En outre, la récente révision à la baisse de la performance du puits national forestier de stockage de carbone rehausserait encore la cible de décarbonation de tous les secteurs, y compris du bâtiment. Enfin, à demande inchangée, les politiques de réindustrialisation verte pourraient tirer à la hausse les émissions territoriales, tout en réduisant l'empreinte carbone du secteur, grâce notamment à des procédés industriels en moyenne moins carbonés en France qu'à l'étranger et au plus faible contenu carbone de l'électricité française.

Postes d'émissions : La grande majorité des émissions provient du CO₂ (plus de 92 %). Les émissions du secteur sont dues pour trois quarts à la métallurgie, la chimie et la fabrication de minéraux non métalliques (ciment, chaux, verre, etc.). Ces produits sont fortement intenses par la consommation d'énergie associée à leur production ou par les émissions de procédé qui y sont associées (un quart des émissions du secteur). Par exemple, les émissions de la chimie ont diminué de 68 % en France entre 1990 et 2020, notamment grâce à une réduction drastique des émissions de N₂O (-97 %) liées à la production d'acides adipique et nitrique.

Principaux leviers de décarbonation : L'actuelle stratégie nationale bas carbone (SNBC2) et la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) identifient les principaux leviers de décarbonation, toujours d'actualité aujourd'hui :

1. Transformation du mix énergétique de l'industrie (sortie de l'utilisation du charbon à vocation énergétique, intégration d'énergies renouvelables thermiques, électrification de la production de chaleur et augmentation de l'efficacité énergétique).
2. Changement des procédés (électrification des procédés, substitution du méthane par l'hydrogène, nouveaux procédés innovants⁴⁰).
3. Développement de la capture et du stockage du carbone (pour la décarbonation des émissions ultimes des sites à émissions concentrées).

b. Besoins d'investissements

À titre indicatif, les investissements corporels bruts historiques de la filière du ciment sont de l'ordre de 0,2 Md€/an entre 2013 et 2017 (Comptes nationaux de l'Insee).

En mobilisant des hypothèses de baisses de production des scénarios Transition(s) 2050 et sur un périmètre restreint à la filière de production de ciment, d'acier, alcènes & aromatiques et ammoniac⁴¹, sans tenir comptes d'investissements dans les infrastructures de réseau (électricité, hydrogène, CCS) ; les besoins d'investissements supplémentaires nets des désinvestissements bruts pourraient atteindre jusqu'à +0,7 Md€/an en moyenne sur 2023-2030 (ADEME (2021) et I4CE (2023b)). Ces estimations sont dépendantes des débouchés et en particulier de l'évolution de la construction neuve et de l'utilisation de matériaux alternatifs dans le bâtiment (par exemple panneaux bois ou ciment sans clinker), qui varie fortement selon les scénarios de transition (cf. Chapitre Bâtiments).

Les principales estimations publiées évaluent les besoins d'investissements bruts supplémentaires dans la décarbonation de l'industrie à entre +2 et +3 Md€/an en moyenne 2024-2030 et jusqu'à +5 Md€/an en 2030 en intégrant les surcoûts de maintenance et d'opération, pour le respect des objectifs de la SNBC3.

⁴⁰ Par exemple, utilisation de ciments sans clinker.

⁴¹ Les trois secteurs représentaient 45 % des émissions de l'industrie en 2020.

Sur la base des hypothèses de variation de production de la SNBC2, les besoins supplémentaires pour la décarbonation sont estimés en moyenne sur 2024-2030 en brut dans Institut Rousseau (2022) et en surcoût à l'achat à entre +1,5 et +3 Md€/an⁴². Ils pourraient atteindre jusqu'à +4 Md€/an en 2030 selon Rexecode (2022). Ces besoins sont établis en supplémentaires à un tendanciel incluant en partie des investissements déjà engagés dans les plans de Relance et France 2030. L'additionnalité de ces deux plans au tendanciel d'investissements reste toutefois complexe à déterminer car leurs investissements pourraient en partie se substituer à ceux projetés.

Encadré 12 : Mesures de soutien à la décarbonation de l'industrie

France Relance

Les appels à projets inclus dans le Fonds Décarbonation de l'industrie de France Relance ont permis de soutenir la décarbonation de l'industrie à hauteur de 1,3 Md€ (pour 241 lauréats) pour un total d'investissements de 4,3 Md€. Ils devraient permettre de réduire les émissions d'environ 5 MtCO₂eq/an supplémentaires, correspondant à une baisse de -6 % en 2030 par rapport à 2015, en comparaison aux à l'objectif de -35 % de la SNBC2⁴³.

Le coût d'abattement socioéconomique moyen de 121 projets lauréats du volet décarbonation des procédés et des utilités ressort à 26 €/tCO₂eq. En considérant que les appels à projet furent subventionnés par ordre de rentabilité et d'efficacité, le coût d'abattement des projets futurs à venir est attendu croissant avec la difficulté de décarbonation.

France 2030

Le plan France 2030 vise un objectif de diminution de 8 % des émissions du secteur entre 2015 et 2030 en dédiant 5,6 Md€ à la décarbonation de l'industrie. Parmi ces 5,6 Md€, 4 Md€ seraient dédiés aux grands projets de décarbonation profonde et 1 Md€ au déploiement des technologies bas carbone ciblées vers des acteurs de taille plus modeste ou des acteurs émergents. Comme annoncé par le Président de la République, les acteurs de l'industrie pourraient bénéficier d'un doublement de ces 5 Md€ sous la condition du doublement de leurs efforts de décarbonation (de -10 à -20 MtCO₂eq d'ici 2030) avant 18 mois.

Enfin, sur la base d'un scénario à iso-production, les besoins bruts non supplémentaires⁴⁴ en CAPEX sont estimés à environ 4 Md€/an en moyenne d'ici 2030 dans DGE (2023). La part supplémentaire reste complexe à identifier au regard de la difficulté à isoler les investissements favorables à la décarbonation dans le secteur industriel (notamment pour l'amélioration de l'efficacité énergétique). Ils sont complétés par des surcoûts de dépenses d'exploitation de +1,7 Md€/an desquels se retrancheraient -1,1 Md€/an de gains énergétiques. Ils restent toutefois très incertains.

⁴² Les leviers de décarbonation comprennent notamment l'augmentation de l'efficacité énergétique, l'utilisation de biomasse dans des chaudières ou des fours industriels, l'électrification des procédés (par exemple pour la chaleur industrielle basse température), la substitution du charbon par du (bio)gaz, la capture et séquestration du CO₂ ou encore la production d'hydrogène bas-carbone et le développement de l'usage de l'H₂.

⁴³ Direction générale des entreprises, mars 2023, [Thémas de la DGE – N°8. L'action de l'État en faveur de la décarbonation de l'industrie](#).

⁴⁴ Ces besoins non supplémentaires sont à mettre au regard des investissements déjà prévus aujourd'hui en faveur de la décarbonation dans l'industrie, qui sont très peu connus à ce stade.

Encadré 13 : La capture et le stockage du carbone (CCS) et la Stratégie hydrogène

La capture et le stockage du carbone (CCS)

Les coûts d'abattements complets du CCS (à l'achat et au fonctionnement) sont situés entre 80 et 150 €/tCO₂ évitées sur 20 ans⁴⁵, les premiers projets pouvant être plus coûteux car nécessitant la mise en place d'infrastructures importantes. Sur la base d'un potentiel de développement de 1 MtCO₂eq/an en 2030 estimés dans la SNBC2, les coûts totaux du développement atteindraient entre 1,5 et 3 Md€ environ d'ici 2030. Une stratégie nationale de développement du CCS est actuellement en cours d'élaboration, qui pourrait revoir à la hausse les trajectoires de capture et stockage et les investissements associés (capture, transport, stockage) sur les prochaines années.

Ces estimations ne prennent pas en considération les risques de verrou technologique (effet de substitution des investissements dans le CCS aux investissements bas carbone, comme dans le ciment sans clinker par exemple) et de tension sur la production d'électricité (ces technologies étant fortement consommatrices en énergie). Elles ne prennent pas non plus en compte les effets de dépendance aux prix des énergies fossiles sur les coûts de fonctionnement (maintien de l'importation de gaz fossile à usage énergétique par exemple).

La stratégie hydrogène

Dans le cadre de sa Stratégie nationale de développement de l'hydrogène décarboné,⁴⁶ le gouvernement va déployer respectivement 7 et 1,9 Md€ en faveur de la production et l'utilisation d'hydrogène bas-carbone dans l'industrie, en particulier l'industrie lourde (dont 4,7 Md€ de nouveaux crédits et le reste financés par France 2030 et France Relance). La Stratégie a vocation à être actualisée en 2023.

c. Principaux facteurs d'incertitude

Les montants estimés sont particulièrement sensibles aux hypothèses d'évolution des coûts d'abattement. Ces derniers devraient être progressivement de plus en plus élevés à mesure de l'épuisement des gisements de décarbonation les plus efficaces dans le secteur industriel (par exemple, augmentation du coût marginal de gains d'efficacité énergétique). L'incertitude porte tant sur l'évolution future des coûts des technologies, que sur le coût de leur déploiement, en tenant compte par exemple des effets de réseaux pour le CCS, et sur les coûts futurs de l'électricité. Par ailleurs, la tension sur les capacités de production de la biomasse à vocation énergétique, également mobilisée pour la décarbonation d'usages difficilement électrifiables, pourrait s'avérer forte et renforcer les besoins dans des leviers de rupture technologique (nouveaux procédés pour éviter l'utilisation de biogaz par exemple).

⁴⁵ ADEME (2020), [Le captage et stockage géologique de CO₂ \(CSC\) en France : un potentiel limité pour réduire les émissions industrielles](#).

⁴⁶ Ministère de l'Industrie (2023), [Accélérer le déploiement de l'hydrogène, clé de voûte de la décarbonation de l'industrie](#), Dossier de presse.

Plus largement, la trajectoire de réindustrialisation influera fortement sur les besoins d'investissements totaux du secteur. À demande inchangée, une politique de réindustrialisation verte pourrait jouer à la baisse sur l'empreinte carbone du secteur, au vu du faible contenu carbone moyen de l'électricité française et grâce à des procédés en moyenne plus décarbonés que ceux en pratique à l'étranger (constat variant néanmoins selon les filières), tout en jouant à la hausse sur les émissions territoriales du secteur.

d. Acteurs concernés

Les émissions de l'industrie sont concentrées pour plus de 55 % dans 50 grands sites émetteurs, permettant une gestion concentrée des politiques de décarbonation. Ils représentent plus de 10 % des émissions françaises, donnant l'opportunité d'un pilotage fin des trajectoires de baisses d'émissions et d'investissements associés, notamment *via* les contrats de transition écologique et les feuilles de route de la décarbonation par grand site. Le pilotage de la décarbonation des sites restants, notamment de l'industrie diffuse, nécessitera la mobilisation d'outils de politiques publiques complémentaires.

Annexe sectorielle 4.1 – Détail des résultats

Étude	Contrefactuel	Scénario	TOTAL	Remarques
Investissements historiques du <u>secteur Ciment</u>				
Insee (comptes nationaux)	-	-	Formation brute de capital fixe du secteur observée : 0,2 Md€/an sur 2013-2017	Investissements corporels bruts du code NAF 23.5
Besoins climat supplémentaires bruts en 2030 [et en moyenne 2024-2030] (Md€/an)				
Ciment				
ADEME (2021)	Historique moyenne 2013-2017	SNBC2 - Variante technologique	[+0,1 Md€/an]*	À horizon 2050 et en supposant que l'ensemble des investissements actuels dans le secteur (<i>cf.</i> ligne ci-dessus) soient dédiés dans le futur à des actifs bas-carbone
		SNBC2 – Variante sobriété	[−0,2 Md€/an]*	
Ciment, acier, alcènes & aromatiques et ammoniac				
I4CE (2023b)	Prospectif 2022	S2 ADEME	+0,3 Md€/an	Besoins à production variable selon les scénarios, incluant le renouvellement du capital carboné mais hors OPEX des équipements bas-carbone et hors progrès technologique (sauf pour H ₂ électrolytique)
		S3 ADEME	+0,7 Md€/an	
Toutes filières				
Institut Rousseau (2022)	<i>Scénario tendanciel</i>	SNBC2	+1,5 Md€/an pour 2050	Hors investissements dans la production d'H ₂ électrolytique, mais en incluant les investissements dans les filières nationales stratégiques pour la transition.
Rexecode (2022)	<i>Scénario tendanciel</i>	SNBC2	Surcoût : +4 Md€/an [+3] (+8 pour 2050)	Besoins CAPEX uniquement, incluant en partie France Relance et France 2030 ⁴⁷
DGE (2023)	-	SNBC3	<u>En non supplémentaires</u> : 4 Md€/an	Besoins CAPEX, calculés à iso-production.
			<u>Chiffrage complémentaire</u> : Somme des surcoûts d'OPEX associés à la décarbonation : +1,8 Md€/an en surcoûts desquels se retranchent −1,1 Md€/an d'économies.	

*En moyenne 2020-2050.

⁴⁷ L'étude se compare à un tendanciel antérieur à 2021, mais dont la projection future pourrait inclure en partie des investissements des deux plans, dont l'additionnalité au tendanciel d'investissements reste complexe à déterminer (ils pourraient en partie se substituer aux investissements projetés).

Annexe sectorielle 4.2 – Détail des études

I4CE (2023b) estime des besoins d'investissements bruts en multipliant les niveaux de production par des coûts de production des différentes technologies issues d'une revue de littérature. Ils sont basés sur les différents scénarios de l'étude Transition(s) 2050 de l'ADEME et incluent donc les variations de production associées. Les besoins sont établis sur un périmètre partiel de l'industrie (production de ciment, d'acier, d'alcènes & alcanes, et d'ammoniac) et ne couvrent pas les coûts de renouvellement des technologies bas-carbone, mais incluent les investissements dans les capacités de production carbonées des différents scénarios. Les coûts des technologies sont également constants dans le temps, à l'exception des électrolyseurs H₂ pour lesquels ils sont divisés par deux à l'horizon 2050. L'estimation des besoins d'investissements ne tient pas comptes d'investissements dans les infrastructures de réseau (électricité, hydrogène, CCS).

Rexecode (2022) estime des surcroûts d'investissements nécessaires dans certains leviers technologiques de décarbonation (décarbonation de l'hydrogène pour ces usages actuels, production et utilisation d'hydrogène pour des nouveaux usages industriels énergétiques ou non-énergétiques, capture et séquestration du CO₂, électrification de la production chaleur basse température (< 200°C) pour certains usages industriels). Les coûts de décarbonation sont basés sur des rapports de l'Agence internationale de l'énergie (pour le CCS, l'hydrogène bas-carbone et les nouveaux usages de l'hydrogène) et d'autres identifiés dans la littérature académique (électrification des procédés).

L'Institut Rousseau (2022) estime les investissements supplémentaires à réaliser par rapport à un scénario tendanciel pour : (i) décarboner les neuf activités les plus énérgo-intensives de l'industrie⁴⁸ (représentant 52 % des émissions de l'industrie) ; (ii) décarboner le reste de l'industrie (48 % des émissions restantes) ; et (iii) développer des filières nationales stratégiques d'excellence (batteries, électrolyseurs, technologies de production d'énergies renouvelables, pompes à chaleur, etc.). Les investissements à réaliser dans les méthaniseurs, permettant de couvrir la consommation de biométhane du secteur, sont intégrés dans le secteur Énergie, de même pour les moyens de production d'hydrogène du secteur industriel. L'Institut Rousseau estime les besoins supplémentaires à +38 Md€ d'ici 2050, dont +12 Md€ pour les filières nationales stratégiques pour la transition écologique.

L'ADEME (2021) établit dans ses plans de transition sectoriels une analyse des enjeux de la décarbonation et propose deux scénarios de transition associées, l'un axe sur la sobriété (« low-tech ») et l'autre sur le développement technologique (« techno-push »). Chaque scénario est établi en cohérence avec une trajectoire différente de demande de ciment pour la construction neuve et la rénovation. Le premier plan sectoriel traite du ciment et établit deux scénarios en accord avec les objectifs de la SNBC2. En particulier, le scénario basé sur la sobriété est porté par une baisse de la production atteignant -46 % en 2050 tandis que le scénario pro-technologique est axé vers la rénovation et la massification des sites ainsi que le déploiement des technologies de capture et de stockage du carbone et de minéralisation. Les investissements associés aux scénarios sont calculés à horizon 2050.

La DGE (2023)⁴⁹ évalue les besoins de financement bruts en CAPEX (non supplémentaires) et OPEX (surcoûts pour certains projets de décarbonation, gains pour d'autres), dans la décarbonation pour atteindre les objectifs 2030 de la SNBC3, sur la base des données des 50 sites les plus émetteurs et des feuilles de route sectorielles de la décarbonation pour les sites diffus. La DGE mobilise une fourchette des prix de l'énergie, les résultats présentés correspondant à un scénario central de prix de fourniture de l'électricité constants à 90 €/MWh. Les besoins sont calculés à iso-production et n'incluent pas de baisse projetée des prix pour l'ensemble des technologies, en particulier dans l'industrie diffuse, pour laquelle les coûts sont issus des données des dispositifs de soutien existants (DECARB IND, DEARB FLASH, Fonds chaleur).

⁴⁸ Production d'acier, de ciment, d'alcènes (hydrocarbures), de verre, de papier-carton, d'ammoniac, de sucre, d'aluminium et de dichlore.

⁴⁹ Chiffrages internes réalisés dans le cadre des travaux préparatoires du deuxième Conseil de planification écologique.

2.5 Chapitre 5 – Agriculture et Forêts

Encadré 14 : Résumé des principaux résultats pour les secteurs de l'agriculture et des forêts

Les besoins d'investissements bruts supplémentaires dans l'agriculture et le secteur des forêts et des terres ont fait l'objet de peu d'études récentes. Les chiffres existants identifient des besoins bruts supplémentaires minimum de l'ordre de +1 Md€/an pour l'agriculture, portés par l'acquisition de nouveaux engins bas carbone, et autour de +1 Md€/an pour la forêt en moyenne à l'horizon 2030 par rapport à aujourd'hui pour l'atteinte des objectifs SNBC2, sur un périmètre restreint d'investissements. La restauration des capacités de stockage du puits de carbone forestier, ayant baissé de deux tiers depuis les années 2000, nécessiterait à elle seule jusqu'à 28 Md€ d'investissements bruts non supplémentaires, soit +3 Md€/an d'ici 2030, portant les besoins supplémentaires pour la forêt à environ +4 Md€/an.

Ces chiffrages devront être approfondis, étant pour la plupart partiels, ciblés sur la transition énergétique du secteur. Ils ne comprennent par ailleurs pas tous les coûts de la transition environnementale pour le secteur : coûts liés à certains changements de pratiques agricoles et à la formation, recherche et développement, investissements nécessaires au respect des objectifs spécifiques hors CO₂ (notamment émissions non énergétiques, par exemple celles liées au méthane). Les besoins pour l'agriculture pourraient augmenter jusqu'à environ +5 Md€/an à l'horizon 2050 et en incluant les dépenses de personnel et de consommation courante.

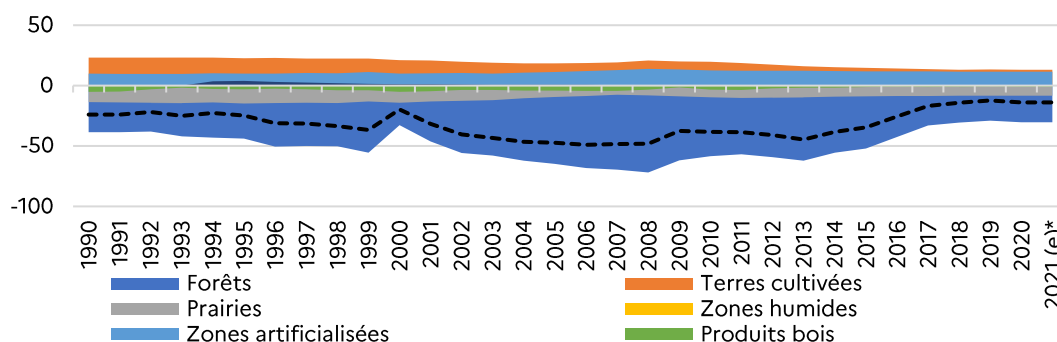
a. Estimations du secteur, objectif de réduction et principaux leviers de décarbonation

Situation actuelle : En 2021, après une baisse de 11 % de ses émissions depuis 1990, l'agriculture représentait 19 % des émissions territoriales brutes de gaz à effet de serre (GES) en France. En comptabilité Secten, utilisée pour rapporter les émissions au niveau national, les émissions attribuées à l'agriculture incluent celles aux élevages, aux cultures, y compris sylviculture, et aux engins motorisés et systèmes de chauffages utilisés par les exploitations (notamment les serres). Le secteur des « terres » nommé UTCATF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie), ici appelé « Forêts », agit comme un puits net de carbone en captant plus de gaz à effet de serre qu'il n'en émet. Il permet de compenser 3 % des émissions brutes en 2021, contre 9 % en 2005 (cf. Encadré ci-dessous).

Encadré 15 : La forte baisse des capacités de stockage du secteur UTCATF

Le bilan du secteur des « terres » a connu une forte amélioration entre 1990 et 2005 (passant de -24 à -47 MtCO₂eq), presque intégralement due à une augmentation du stockage du puits forestier liée au recul de l'agriculture au profit des surfaces boisées. Il est ensuite passé d'environ -45 MtCO₂eq au milieu des années 2000 à -35 MtCO₂eq en 2015. La dégradation s'est ensuite fortement accélérée. Il ne représente plus que -14 MtCO₂eq en 2021, principalement en raison de l'effondrement du puits de carbone forestier.

Graphique 9 : Émissions du secteur UTCATF en 1990 et 2021 (MtCO₂eq)



* Les émissions 2021 sont une estimation provisoire.

Source : Citepa 2022, périmètre Secten.

Remarque : Les variations brutales de 1999 et 2009 sont liées aux dégâts des tempêtes de ces mêmes années.

La dynamique récente s'explique notamment par la baisse de la croissance des arbres et la hausse de la mortalité, dues à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses, des feux de forêt et des maladies depuis 2015 (déperissement des arbres liés aux parasites et champignons, notamment scolytes et chalarose), mais également par la hausse des prélèvements selon le rapport Secten - Citepa (2023).

La résilience des peuplements et l'adaptation des forêts au changement climatique est une variable clef pour limiter le surcroît d'effort demandé au reste de l'économie : face au surcroît d'effort sur la baisse des émissions brutes entre 1990 et 2030 liée au passage de la SNBC2 à la SNBC3 (+ 10 pts), la compensation de la dégradation du puits entre 2005 et 2021 demande un effort supplémentaire sur les réductions d'émissions d'ici 2030 de +6,2 pts par rapport à 1990⁵⁰. En particulier, la perte d'efficacité du stockage naturel imposera des réductions supplémentaires d'émissions ultimes qui seront d'autant plus difficiles à abattre que les secteurs seront décarbonés.

Cible pour 2030 : La SNBC2 établit une cible de diminution d'émissions de l'agriculture à 71,2 MtCO₂eq en 2030 (-22 % par rapport à 1990), nécessitant une diminution de -1,5 % par an entre 2021 et 2030. En intégrant le nouveau rehaussement d'objectif de la France pour 2030 à 50 % de réduction d'émissions de GES par rapport à 1990 (contre -40 % dans la SNBC2), et en supposant une répartition un surcroît d'effort national de 10 pts par secteur (la SNBC3 aura la charge de répartir plus finement cet effort), l'objectif du secteur passerait à 62,1 MtCO₂eq en 2030, nécessitant -2,9 % d'émissions par an entre 2021 et 2030, soit un rythme moyen de diminution d'émissions plus de 2,5 fois supérieur à celui du secteur en 2015 et 2021 (-1,1 %/an). Le secteur UTCATF a quant à lui une cible SNBC2 à -40,0 MtCO₂eq en 2030, correspondant à une hausse de 60 % en valeur absolue d'ici 2030. Cet effort moyen de +13,2 %/an exige une rupture conséquente avec le rythme de dégradation moyen depuis 2015 qui est de -14,2 %/an en moyenne. La SNBC3 aura donc à charge d'établir une cible réaliste pour le secteur, qui pourrait être moins volontariste, mais imposerait une hausse relative de l'effort pour les autres secteurs. La tension sur ces deux secteurs sera d'autant plus forte qu'ils offrent des leviers de la décarbonation pour de nombreux usages, notamment *via* le recours à la biomasse (biogaz et biocarburants pour l'agriculture et produits bois pour les forêts).

Postes d'émissions : L'agriculture se distingue des autres secteurs par la faible part d'émissions énergétiques (13 %) dans les émissions du secteur. Les sources principales d'émissions sont le méthane (CH₄) pour 46 %, principalement émis par les animaux *via* la fermentation entérique, et le dioxyde d'azote pour 40 % (N₂O), lié à la transformation de produits azotés *via* la fertilisation des cultures (étendage sur les sols agricoles d'engrais, de fumier, de lisier, etc.). Le secteur UTCATF combine à la fois des postes d'émissions et de stockage. Les émissions du secteur sont dominées par le CO₂, en particulier émis par la récolte et la mortalité de la biomasse ainsi que le déboisement pour usage agricole. Son stockage est notamment apporté par la croissance de la biomasse, la variation du stock de carbone dans le sol et le reboisement des surfaces.

Principaux leviers de décarbonation : la Stratégie nationale bas carbone actuelle (SNBC2) identifie les principaux leviers de décarbonation suivants :

- Agriculture :

1. Baisse des émissions de CH₄ *via* l'évolution des usages de l'élevage : réduction du gaspillage alimentaire et augmentation de la production de protéines végétales en substitution à des protéines animales ; modification des régimes alimentaires des cheptels bovins et évolution tendancielle à la baisse ; modification de la demande et de la consommation dans les filières agroalimentaires (limitant des excès de consommation de charcuterie et viandes hors volailles, augmentation de celle de légumineuses et de fruits et légumes, en lien avec les recommandations nutritionnelles).
2. Baisse des émissions de N₂O, notamment *via* les changements de pratiques des grandes cultures : augmentation de la surface de production en bio et en légumineuses, favorisation du recyclage de l'azote.

⁵⁰ Le règlement européen sur la prise en compte des émissions et des absorptions de gaz à effet de serre résultant de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie, dit « règlement LULUCF », fixe également un objectif de -34 MtCO₂eq en 2030 pour le secteur UTCATF en France.

3. Baisse des émissions de CO₂ par la transformation des usages énergétiques : baisse de la consommation d'énergie, conversion des engins agricoles aux biocarburants, au biogaz et à l'électrique à plus long terme.

- Forêts :

1. Renforcement du stockage de carbone dans des produits bois à longue durée de vie.
2. Réduction de l'artificialisation des terres.
3. Renforcement du stockage de carbone dans les sols agricoles.
4. Adaptation des forêts au changement climatique.

b. Besoins d'investissements

La décarbonation des secteurs agricole et forestier nécessitera des investissements supplémentaires en formation de capital fixe et consommation durable, associés plus largement à des changements de pratiques. Les postes d'investissements en capital fixe incluent par exemple l'évolution de la flotte d'engins agricoles et sylvicoles vers des motorisations bas-carbone, le recours à la méthanisation agricole (acquisition de méthaniseurs, couverture de fosses), l'électrification des bâtiments d'élevage ou encore le passage aux énergies renouvelables pour les serres chauffées (chaleur fatale et biomasse). La transition du secteur pourra également impliquer, pour certaines exploitations, le développement de production d'énergie (agri-voltaïsme, biogaz, etc.).

Peu d'études évaluent à ce jour les investissements existants dans la transition environnementale du secteur agricole et des terres (puits naturels de captation carbone), les estimations des besoins supplémentaires étant encore plus rares. Cela s'explique notamment par l'hétérogénéité des besoins, à décliner à travers des leviers de réduction des GES variés, en fonction des GES (CO₂, méthane, azote) et selon les filières agricoles : réduction des utilisations des intrants émissifs, émissions de méthane des élevages, évolution du parc des engins agricoles, actions sur les puits naturels (prairies, forêts, etc.). Une autre difficulté vient du fait que la transition écologique nécessite, dans ce secteur, d'importants changements de pratiques ne se résumant pas à la réalisation d'investissements comme définis dans ces travaux par la formation brute de capital fixe (accompagnement à l'adoption de pratiques agroécologiques, recherche et développement, etc.).

Pour l'agriculture, les études actuelles estiment le besoin en investissements bruts supplémentaires dans la transition permettent d'estimer une borne minimale à +1 Md€/an d'ici 2030 pour les objectifs de la SNBC2. I4CE (2021) fournit une estimation partielle des investissements historiques dans la décarbonation, se focalisant sur la branche énergétique du secteur agricole (0,3 Md€ observés en 2019, couvrant installations solaires, efficacité énergétique, méthanisation et valorisation de la biomasse). Rexecode (2022) établit un besoin brut supplémentaire de +0,5 Md€/an pour le secteur agricole pour atteindre les objectifs de la SNBC2, en extrapolant les coûts d'abattement issus de changements de pratiques culturelles d'une étude de l'INRA de 2013 (75 €/tCO_{2eq}) et en incluant les économies liées aux réductions d'intrants fossiles. En considérant cette estimation et celles de l'IDDRI (2021) sur certaines filières uniquement (céréales, oléoprotéagineux, lait) et du Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER - 2022) sur la transition vers des véhicules bas carbone (investissements bruts publics en surcoûts à l'acquisition), on peut estimer une borne basse des besoins d'investissements bruts supplémentaires dans la décarbonation à +1 Md€/an.

Certaines études incluent, au-delà des investissements, d'autres coûts associés à la décarbonation, qui devraient être significatifs en proportion pour les secteurs agricoles et forestiers. L'Institut Rousseau (2022) estime, en incluant les changements de pratiques et la formation, sous un scénario de transition très ambitieux (conversion quasi-généralisée à l'agroécologie et à l'agriculture biologique), que la décarbonation du secteur agricole nécessite des besoins financiers de l'ordre de +5 Md€/an d'ici 2050. Les besoins de recherche et développement ne sont pas estimés.

Les études n'incluent pas dans leur contrefactuel les investissements déjà engagés via France Relance et France 2030, pouvant réduire les besoins supplémentaires.

Par ailleurs, les gains liés au développement de la production énergétique par le secteur dans les scénarios de transition pourraient abaisser le surcoût total pour les acteurs sur la durée de vie de l'investissement. Le Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER) estime, dans un scénario mobilisant une forte production énergétique par les exploitations, que le gain de revenu apporté par la production d'électricité photovoltaïque pourrait atteindre 1 Md€/an à l'horizon 2050 dans CGAAER (2022).

Pour le secteur des puits de carbone naturels, on peut estimer le besoin d'investissements supplémentaires pour l'atteinte de la SNBC2 à environ +1 Md€/an d'ici 2030, auxquels s'ajoutent +3 Md€/an pour le renouvellement forestier. Les postes d'investissements couvrent l'augmentation de la superficie forestière et l'amélioration de la gestion des forêts (diversification des essences, plantation d'arbres et de haies en champ). L'Institut Rousseau (2022) et Rexecode (2022) fournissent tous deux une estimation des besoins de +1 Md€/an environ d'investissements à l'horizon 2030. L'Institut Rousseau inclut ici les investissements dans les puits de carbone technologiques (CCS) à l'horizon 2050 mais à des capacités bien moindres que celles prévues dans la SNBC2 (3 MtCO₂eq/an contre 15 MtCO₂eq/an).

Encadré 16 : Renouvellement forestier

Les estimations de besoins d'investissements bruts supplémentaires pour le renouvellement forestier oscillent entre +150 et +300 M€/an d'ici 2030⁵¹. Elles ont été suivies par les récents engagements du Gouvernement lors des Assises de la forêt en mars 2022, de mobiliser +150 M€/an de sources publiques et privées dédiés au renouvellement forestier à partir de 2024 (dans la continuité du plan France Relance).

Ces estimations ne traitent pas de l'alignement du renouvellement forestier avec les objectifs, très allants, d'augmentation du puits forestier de la SNBC2. En particulier, ils ne garantissent pas le retour aux fortes capacités de stockage du puits de 2005. Ils appellent donc à être précisés suite à la révision à la baisse des capacités de stockage du puits entre les scénarios de transition de la SNBC2 (-70 MtCO₂eq en 2050) et de la SNBC3 (actuellement projeté à -18 MtCO₂eq en 2030⁵²) induite notamment par la hausse de mortalité des forêts liée au réchauffement et crises parasitaires.

À titre illustratif, si la dégradation du bilan du secteur de 21 MtCO₂eq entre 2015 et 2021 venait à être compensée uniquement par le renouvellement forestier (de nombreux autres leviers forestiers pouvant être mobilisés) les coûts d'investissements supplémentaires nécessaires pourraient atteindre un total d'environ **25 à 28 Md€⁵³, soit environ +3 Md€/an d'ici 2030 et par rapport à 2021.** Cette estimation ne tient pas compte de l'adaptation des essences au changement climatique et ne modélise pas finement la variété des différents types de sols étant amenés à être renouvelés.

⁵¹ *Rapport Cattelot (2019) ; Cour des comptes (2020) ; IGF (2020).*

⁵² (Octobre 2023), *Plan national intégré énergie-climat de la France – Projet de mise à jour.*

⁵³ Sur la base d'un facteur de stockage dans les sols de 0,8 tC/ha/an pour une conversion de cultures vers des terres forestières d'une durée de transition de 20 ans et en considérant un potentiel de stockage identique dans la biomasse aérienne (INRA, 2020, *Stocker du carbone dans les sols français - Rapport scientifique*, p.105, issu d'une méta-analyse de Poeplau et al. (2011)). En considérant également que les mesures du Plan de Relance ont permis de financer le renouvellement forestier de plus de 16 000 hectares, à l'aide de 80 M€ de subventions de l'État (*Clôture des assises de la forêt et du bois - Dossier de presse, 16 mars 2022*) et en mobilisant une hypothèse de cofinancement de l'État de 80 % pour le renouvellement de peuplements sinistrés par des phénomènes abiotiques ou biotiques (*Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2021, Appel à manifestation d'intérêt (ami) Cahier des charges aider la forêt à s'adapter au changement climatique pour mieux l'atténuer - volet « renouvellement forestier », p.14*). Le résultat est ensuite inflaté du taux de mortalité des plants constaté par le *Département de la santé des forêts*, compris entre 12 % (moyenne 2015-2022) et 22 % (année 2022).

c. Acteurs concernés

La transition climatique des secteurs agricole et forestier demandera un fort investissement en capital des exploitants et propriétaires forestiers, principalement des très petites, petites et moyennes entreprises, et appelle également à des changements de pratiques et de formation. La transition vers des engins non routiers à motorisations bas-carbone et vers la production de bioénergies sur site nécessiteront des investissements en capital, qui pourront être conséquents pour les plus petits exploitants agricoles et propriétaires. L'effort dépendra de la vitesse de renouvellement du parc de véhicules (au fil du cycle d'investissement tendanciel ou avant la période de fin d'amortissement) et de la disponibilité d'équipements alternatifs bas-carbone dans les différentes filières et à un surcoût plus ou moins élevé. Un mix d'outils de politiques publiques mobilisant des outils d'accompagnement sera nécessaire, en particulier pour les plus acteurs les plus vulnérables et en vue de la formation aux nouvelles pratiques des filières de production.

Les filières situées en aval de la foresterie (transformation du bois) devront aussi être structurées pour répondre à la forte demande de produits biosourcés. Les sylviculteurs, mais aussi les scieries, seront confrontés à une hausse de la demande de produits bois, notamment en provenance de la construction et de la rénovation, pour répondre à la contrainte de diminution des émissions liées à la production de matériaux.

d. Principales limites et incertitudes

Les estimations d'investissements climats actuels et de besoins supplémentaires sont très peu connues sur ces deux secteurs, en particulier celles relatives aux mesures non énergétiques. Les estimations de besoins dans la transition énergétique de l'agriculture (conversion des motorisations et production de bioénergie) sont les plus étudiées aujourd'hui. Les coûts des changements de pratiques agricoles, de la reforestation et de la lutte contre l'artificialisation sont encore trop peu cartographiés et devront être approfondis. En particulier, l'étude la plus complète sur les coûts de changements de pratiques du secteur agricole date de 2013 (INRA).

Le bouclage global en biomasse des scénarios mobilisés reste incertain et appelle à une restructuration rapide des filières agricoles et forestières en conséquence. En particulier, la production de biomasse à vocation énergétique (biocarburants, biogaz) et de produits bois devra augmenter fortement pour répondre à la demande des secteurs pour lesquels l'électrification et la décarbonation des intrants est la plus complexe à réaliser.

Annexe sectorielle 5.1 – Détail des résultats

Agriculture				
Étude	Contrefactuel	Scénario	TOTAL	Remarques
Investissements climat historiques en 2019 (Md€)				
I4CE (2021)			0,3 Md€	Périmètre partiel : réalisations liées à l'efficacité énergétique dans les programmes FEDER/FEADER ⁵⁴ et aux énergies renouvelables à la ferme (photovoltaïque, solaire thermique, méthanisation, valorisation biomasse, efficacité énergétique)
Besoins climat supplémentaires bruts en 2030 [et en moyenne 2024-2030] (Md€/an)				
Périmètre partiel				
IDDRI (2021)	2015	SNBC2	+0,2 Md€/an	Uniquement pour les filières agroalimentaires de céréales, d'oléoprotéagineux et de lait Inclut la transformation du système et sa décarbonation
CGAAER (2022)	2021	« Les Énergiculteurs »	+1 Md€/an public <i>Remarque : +2 Md€ total dans le cas d'une hypothèse simple de cofinancement public-privé de 50 %</i>	Uniquement pour le passage aux tracteurs bas-carbone (moteurs GNV et électriques, mais aussi infrastructures de recharge pour 15 M€/an)
			<u>Chiffrage complémentaire</u> : le gain de revenu apporté par la production d'électricité photovoltaïque pourrait atteindre 1 Md€/an à l'horizon 2050.	
Intégralité du secteur				
Rexecode (2022)	Scénario tendanciel	SNBC2	+0,5 Md€/an [+0,3] (+1,5 Md€/an pour 2050)	Toutes filières, sur la base de coûts d'abattements de pratiques culturales et du recours à la méthanisation uniquement ⁵⁵
Institut Rousseau (2022)	Scénario tendanciel	SNBC2	+5 Md€/an pour 2050	Y compris aides à la transition au-delà des investissements (ex : formation aux changements de pratiques)

Forêts				
Étude	Contrefactuel	Scénario	TOTAL	Remarques
Investissements climat historiques en 2019 (Md€)				
I4CE (2021)			0,2 Md€	<u>Périmètre partiel</u> : Programme FEADER et construction bois
Besoins climat supplémentaires bruts en 2030 [et en moyenne 2024-2030] (Md€/an)				
Institut Rousseau (2022)	Scénario tendanciel	SNBC2	+1 Md€/an pour 2050	Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) <u>et technologiques</u>
Rexecode (2022)	Scénario tendanciel	SNBC2	+1 Md€/an [+1] (+1 pour 2050)	Sur la base d'un coût d'abattement moyen de 100 €/tCO ₂ eq captée.
Présent document de travail	–	Reforestation au niveau du puits 2015	<u>En non supplémentaires</u> : 3 Md€/an	Restauration des capacités de stockage à leur niveau de 2015 par replantation, sur la base des coûts estimés des projets de replantation subventionnés via France Relance.

⁵⁴ Le Fonds européen de développement régional (FEDER) et le Fonds européen agricole pour le développement rural (FEADER) participent au financement du second pilier de la politique agricole commune (PAC).

⁵⁵ Réduction des engrais minéraux de synthèse, cultures intermédiaires, agroforesterie, modification des régimes alimentaires des cheptels, méthanisation et nouvelles techniques de labour. La décarbonation des véhicules n'est donc pas considérée.

Annexe sectorielle 5.2 – Détail des études

I4CE (2021) dresse le bilan des investissements totaux climat dans la branche énergétique du secteur agricole et une partie de celle du secteur forestier donné en 2019 (0,6 Md€⁵⁶).

L'IDDRI (2021) établit les besoins d'investissements supplémentaires dans le secteur agricole pour la filière céréales et oléoprotéagineux (COP) et pour la filière laitière (hors filière bovine allaitante). La production de viande, qui compte pour un tiers des emplois et de la valeur du secteur agroalimentaire, n'est pas incluse. L'IDDRI se limite donc à un périmètre partiel, ces deux sous-secteurs comptant respectivement pour la moitié de la création de valeur de l'exploitation agricole et de l'industrie alimentaire. Deux scénarios de transition inspirés de la SNBC2 sont mobilisés. Le premier (« France duale ») se focalise sur l'enjeu climat, sans modification du cadre de marché ou de la demande et le second (« Recompositions ») intègre des évolutions ambitieuses de modes de production ou de consommation⁵⁷, en comparaison à 2015. L'IDDRI modélise par exemple une augmentation de l'efficacité de la production (engrais azotés et alimentation animale) et une hausse de la production de protéines végétales, du recours à la méthanisation et du potentiel de stockage dans les sols agricoles. Les montants représentent alors des besoins pour la décarbonation et la transformation du secteur. Contrairement à la majorité des modèles de simulation, cette estimation tient compte des modifications de préférences alimentaires à moyen et long terme.

Rexecode (2022) estime les surinvestissements nécessaires dans le secteur agricole sur la base des coûts d'abattements et gisements d'un rapport de l'INRA (2013⁵⁸), en mobilisant une réduction annuelle d'émissions provenant à 20 % de changements de pratique ne nécessitant pas d'investissements. Les leviers restants sont mobilisés pour un coût d'abattement moyen de 75 (€/an)/(MtCO₂eq/an). Ils incluent la gestion de l'azote (fertilisation azotée, légumineuses), du stockage de carbone dans les sols et la biomasse (non-labour, agroforesterie, cultures intermédiaires et intercalaires, gestion des prairies) et de l'alimentation animale (rations réduisant les rejets azotés ou la production de méthane). Pour le secteur UTCATF, Rexecode mobilise un coût d'abattement unique de 100 (€/an)/(tCO₂eq/an) et des émissions additionnelles à éviter par rapport au scénario tendanciel, afin d'atteindre les objectifs d'absorption d'émissions de la SNBC2.

Le CGAAER (2022) établit des scénarii de diminution des émissions énergétiques pour le secteur agricole sur la base de rapports et consultations d'experts d'EDF et de l'ADEME. Il n'étudie que les besoins nécessaires au renouvellement des tracteurs vers des motorisations alternatives (passage aux motorisations au bioGNV et électrique, et déploiement d'infrastructures de ravitaillement). Le passage aux motorisations électrique et à hydrogène est évoqué à plus long terme car se résume pour l'instant à des prototypes.

L'Institut Rousseau (2022) scénarise un abandon des pratiques agricoles conventionnelles et une transition généralisée vers l'agroécologie et l'agriculture biologique, nécessitant des investissements supplémentaires estimés à +5 Md€/an⁵⁹, sur la base du scénario « Afterres » de SOLAGRO. L'Institut chiffre également les surcroûts d'investissement nécessaires dans la gestion agroécologique et forestière (plantations d'arbres, de haies, etc.) ainsi que dans les technologies de Capture et Stockage du CO₂ (CCS – puits de carbone technologique pour 3 MtCO₂/an en 2050⁶⁰), pour un surcroût d'investissement annuel moyen total de +0,9 Md€/an d'ici à 2050. Ces besoins dans le CCS sont donc négligeables au vu de leurs faibles hypothèses de développement en comparaison à celles du premier tour technique de la SNBC3 (19 MtCO₂/an en 2050). Par ailleurs, l'estimation inclut les besoins de financements de mesures politiques visant l'atteinte des objectifs environnementaux et retranchent les recettes publiques associées. Ce chiffrage va donc au-delà du périmètre de la formation brute de capital fixe.

⁵⁶ Dépenses d'efficacité énergétique des programmes FEDER/FEADER, de méthanisation et liées à l'amont forestier.

⁵⁷ Pour la demande : favorisation des produits de terroirs moins transformés et des protéines animales. Pour la production : déspecialisation et diversification des systèmes agricoles.

⁵⁸ INRA, 2013, Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

⁵⁹ En prenant comme hypothèse que l'augmentation des montants de certaines aides européennes est supportée à 100 % par l'État français, qui constitue une hypothèse conservatrice puisque la France est bénéficiaire nette de la PAC.

⁶⁰ Les investissements nécessaires dans les technologies CCS sont comptabilisées au sein du secteur de l'industrie dans la plupart des études.

Dans le présent document de travail, nous estimons les besoins nécessaires à la restauration du puits forestier par reforestation uniquement, sur la base d'hypothèses de stockage de carbone dans les sols de l'INRA et des coûts de replantation constatés via le Plan France Relance. Ce calcul est fourni à titre purement illustratif car il ne tient pas compte de l'adaptation des essences au changement climatique et ne modélise pas finement la variété des différents types de sols étant amenés à être renouvelés.

2.6 Chapitre 6 – Déchets

Encadré 17 : Résumé des principaux résultats pour le secteur des déchets

Les besoins d'investissements supplémentaires pour le secteur des déchets sont relativement peu estimés à ce stade. Rexecode (2022) les évalue à environ +1 Md€/an à l'horizon 2030.

a. Estimations du secteur, objectif de réduction et principaux leviers de décarbonation

Situation actuelle : En 2021, après une baisse de 5 % de ses émissions depuis 1990, le traitement centralisé des déchets représentait 3,5 % des émissions territoriales brutes de gaz à effet de serre (GES) en France. En comptabilité Secten, utilisée pour rapporter les émissions au niveau national, les émissions attribuées au secteur concernent les activités relatives au stockage, à l'incinération et au traitement des déchets solides (déchets de construction, des activités économiques et déchets ménagers) et au traitement et rejet des eaux usées domestiques et industrielles. Le principal poste d'émissions du secteur est lié au stockage des déchets non dangereux (dégradation des matières organiques dans les décharges notamment), qui compte pour 81 % des émissions en 2021. Ainsi, les émissions du secteur dépendent directement de la quantité de déchets générés sur le territoire et de la part exportée, dont les émissions associées ne sont pas comptabilisées dans l'inventaire.

Cible pour 2030 : La SNBC2 établit une cible de diminution d'émissions du traitement centralisé des déchets à 9,3 MtCO_{2eq} en 2030 (-39 % par rapport à 1990), nécessitant une diminution de -4,8 % par an entre 2021 et 2030. En intégrant le nouveau rehaussement d'objectif de la France pour 2030 à 50 % de réduction d'émissions de GES par rapport à 1990 (contre -40 % dans la SNBC2), et en supposant une répartition homogène du surcroît d'effort national de 10 pts par secteur (la SNBC3 aura la charge de répartir plus finement cet effort), l'objectif du secteur passerait à 7,8 MtCO_{2eq} en 2030, nécessitant -6,7 % d'émissions par an entre 2021 et 2030, soit un rythme moyen de diminution d'émissions plus de 11 fois supérieur à celui du secteur en 2015 et 2021 (-0,6 %/an). De plus, la révision récente de la performance du puits national forestier de stockage de carbone à la baisse rehausserait encore la cible de décarbonation de tous les secteurs. Par ailleurs, le secteur est également concerné par des objectifs de diminution de flux physiques hors émissions (cf. Encadré 12).

Postes d'émissions : Le secteur des déchets se caractérise par la prépondérance des émissions liées au méthane (CH₄), qui représentait 87 % des émissions du secteur en 2021 et provient notamment de la dégradation des déchets organiques en conditions anaérobiques. Les émissions liées au compostage industriel et à la méthanisation ne représentent que 6 % mais sont en progression sur les dernières années (doublement depuis 2005). L'incinération avec récupération d'énergie est, elle, intégrée dans le secteur de l'énergie. Les activités de tri et de recyclage, cruciales pour les objectifs de diminution des déchets, ne sont pas considérées comme des activités émissives dans les inventaires d'émissions, mais contribuent bien à la baisse des émissions par la diminution subséquente des volumes stockés en décharge. Elles permettent aussi la décarbonation de secteurs amont en diminuant la demande de production de produits émissifs, par exemple via le recours à l'acier recyclé. Enfin, la décarbonation du traitement des déchets sera également affectée par la mobilisation de leviers au sein d'autres secteurs économiques, notamment en amont de la chaîne de valeur (par exemple, éco-conception dans le secteur industriel ou incorporation de produits bois dans la construction neuve et la rénovation).

Principaux leviers de décarbonation : la Stratégie nationale bas carbone actuelle (SNBC2) et la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) identifient les principaux leviers de décarbonation :

1. [Périmètre d'investissements du secteur industriel] Prévention de la production de déchets minéraux : éco-conception et augmentation de la durée de vie des produits.
2. Diminution de la production de déchets organiques : réduction du gaspillage alimentaire notamment.

3. Valorisation des déchets résiduels : tri à la source des biodéchets, réparation, réutilisation, réemploi, recyclage, valorisation énergétique.
4. Diminution et valorisation des émissions résiduelles : captage du biogaz, méthanisation des boues.

Encadré 18 : Les objectifs européens et nationaux du secteur des déchets

Des objectifs structurants ont été fixés pour le secteur des déchets, à la fois au niveau européen et national. Au niveau européen, la directive cadre de réduction des déchets (2018) fixe des objectifs de réduction des déchets municipaux mis en décharge de 10 % en 2035 et d'obligation de collecte séparée pour les biodéchets en 2024 et pour les textiles en 2025. Au niveau national, la Loi de transition énergétique pour la croissance verte (2015) fixe des objectifs de réduction et de valorisation des déchets (par exemple, réduction de moitié de la quantité de déchets non dangereux non inertes mis en décharge en 2025 par rapport en 2010). La loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire définit des nouveaux objectifs, comme la réduction de la consommation de ressources (-30 % en 2030 par rapport à 2010, rapporté au PIB), déclinés en la sortie du plastique à usage unique jetable en 2040, de renforcement de l'information des consommateurs, de lutte contre le gaspillage et pour le réemploi solidaire, de lutte contre l'obsolescence programmée et d'amélioration des qualités de production (notamment d'identification de nouvelles filières pollueurs-payeurs devant ainsi contribuer à l'écocontribution de responsabilité élargie du producteur).

Ces principes, mesures, objectifs et orientations législatives, réglementaires et/ou fiscaux sont résumés dans le plan national de gestion des déchets.

b. Besoins d'investissements

Peu d'études analysent, à l'heure actuelle, les investissements favorables à la décarbonation dans le secteur des déchets, avec une estimation des besoins supplémentaires nécessaires établie à environ +1 Md€/an en moyenne jusque 2030. L'Institut Rousseau (2022) estime les besoins supplémentaires à environ +60 M€/an par rapport à un tendanciel d'émissions, mais sur un périmètre partiel, surtout limité à la gestion des biodéchets. Rexecode (2022) estime des besoins d'investissements supplémentaires d'environ +1 Md€/an jusque 2030 et également par rapport à un tendanciel d'émissions projeté.

Encadré 19 : Les dispositifs de soutien à la gestion des déchets

Les filières à responsabilité élargie du producteur (REP)

Les filières à responsabilité élargie des producteurs (REP) sont des dispositifs d'organisation de la gestion de déchets issus de certains produits. Ils reposent sur le principe de responsabilité élargie du producteur⁶¹, selon lequel les personnes physiques ou morales mettant sur le marché un tel produit sont responsables d'en financer ou d'en organiser la prévention et la gestion des déchets. Ces producteurs choisissent alors de s'organiser pour assurer ces obligations, soit collectivement dans le cadre d'éco-organismes, agréés et à but non lucratif, soit via des systèmes individuels. Le modèle suivi est soit opérationnel (les éco-organismes récoltent des éco-contributions afin de contractualiser avec des prestataires assurant la collecte et le traitement des déchets), soit contributif (les éco-organismes perçoivent des éco-contributions qui seront reversées aux collectivités ou à d'autres opérateurs assurant la gestion des déchets).

Les montants des éco-contributions collectées pour l'ensemble des 13 filières REP ont atteint 1,8 Md€ en 2021⁶², toutefois ces financements ne représentent pas nécessairement un surcoût total pour les filières de production concernées, car ils peuvent remplacer en partie des coûts de gestion des déchets déjà supportés précédemment par les filières.

⁶¹ Défini à l'article L541-10 du Code de l'environnement.

⁶² ADEM (2022), [Memo REP – Données 2021](#).

Le fonds économie circulaire de l'ADEME

Alimenté à hauteur de 400 M€ en 2021, dont 236 M€ au titre du plan de relance⁶³, le Fonds Economie Circulaire a pour objectif d'aider les acteurs, principalement les collectivités territoriales et les entreprises, mettant en œuvre des projets ou opérations favorable à l'économie circulaire. L'ADEME, qui déploie le Fonds économie circulaire, est en partie financée par un reversement d'une part des TGAP (Taxes Générales sur les Activités Polluantes) collectées par l'État. Le Fonds économie circulaire est également complété par certaines aides du Fonds Chaleur (développement de la valorisation énergétique des déchets non recyclables) et du Programme d'investissements pour l'avenir (innovation dans le développement du tri et du recyclage).

c. Acteurs concernés

Les besoins supplémentaires concerneront les collectivités territoriales et, de façon afférente, les sociétés privées en délégation de service public. La compétence de la gestion des déchets incombe aux collectivités territoriales. Celles-ci mobilisent des sociétés privées en délégation de service public pour les différentes étapes de cette gestion (collecte, tri, recyclage et traitement).

d. Principales limites et incertitudes

Les études des investissements favorables à la décarbonation sont frustes et peu nombreuses. Seules deux études ont été référencées détaillant les besoins d'investissements nécessaires à la décarbonation, sur le périmètre de tout le secteur (Rexecode et Institut Rousseau, 2022). Elles mobilisent des coûts d'abattements moyens peu détaillés ou issus d'autres secteurs. Par ailleurs, les principaux indicateurs utilisés aujourd'hui sont rapportés à la tonne de déchets générée et non pas aux émissions de GES associées⁶⁴.

Les objectifs de diminution de l'empreinte matière de l'économie pourraient tirer à la hausse les investissements supplémentaires à mobiliser dans ce secteur dans le cadre de la transition écologique, non limitée à la décarbonation. Des besoins supplémentaires conséquents pourraient être nécessaires pour l'atteinte des objectifs de diminution de l'empreinte matière, hors émissions de GES.

⁶³ ADEME (2022), [Les fonds nationaux accélèrent la transition écologique](#).

⁶⁴ ADEME (2017), [Rapport du service public de prévention et de gestion des déchets ménagers et assimilés](#).

Annexe sectorielle 6.1 – Détail des résultats

Étude	Contrefactuel	Scénario	TOTAL	Remarques
Besoins climat supplémentaires bruts en 2030 [et en moyenne 2024-2030] (Md€/an)				
Institut Rousseau (2022)	Scénario tendanciel	SNBC2	+60 M€/an pour 2050	Périmètre partiel : gestion des déchets, principalement biodéchets
Rexecode (2022)	Scénario tendanciel	SNBC2	+1 Md€/an [+1] (+2 Md€/an pour 2050)	Estimation à partir de coûts d'abattement simplifiés, du secteur de l'industrie

Annexe sectorielle 6.2 – Détail des études

Rexecode (2022) estime de manière simplifiée des surcroûts d'investissements nécessaires dans le secteur du traitement des déchets, sur la base des coûts d'abattement des leviers de décarbonation du secteur de l'industrie (non précisés). Les leviers associés pour le secteur des déchets ne sont donc pas détaillés.

L'Institut Rousseau (2022) considère uniquement dans le périmètre du secteur des Déchets les émissions liées à la gestion des déchets produits (décharges, incinération), et les enjeux liés au recyclage matière, à la réutilisation et à la sobriété étant pris en compte dans le secteur de l'industrie. Sont ainsi principalement estimés ici les besoins d'investissements concourant à la réduction du volume de biodéchets enfouis (mis en décharge), *i.e.* pour la mise en place du tri sélectif obligatoire et généralisé des biodéchets à partir de fin 2023. Un coût d'abattement moyen de la tonne de CO₂eq évitée dans le secteur est utilisé pour chiffrer les investissements nécessaires pour abattre les émissions résiduelles du secteur et atteindre les objectifs de la SNBC2.

Conclusion

Les estimations de besoins d'investissements bas-carbone mobilisent des définitions hétérogènes qui nécessitent une harmonisation préalable des montants étudiés (cf. Annexe 1) : besoins supplémentaires ou non supplémentaires, bruts, en surcoûts, nets des désinvestissements des actifs carbonés ou des économies sur la facture énergétique, en 2030 ou en moyenne sur la prochaine décennie, etc. Après harmonisation de leurs résultats, les études récentes sur la France donnent un ordre de grandeur des besoins d'investissements bas-carbone bruts supplémentaires compris entre +55 Md€/an et +130 Md€/an en 2030 par rapport à 2021 (cf. Tableau 2, soit entre +1,5 et +5 pts de PIB), limités à environ +100 Md€/an en moyenne 2024-2030. Ces montants s'inscrivent dans une fourchette moyenne européenne et mondiale centrée autour de +2 à +3 pts de PIB (cf. Annexe 2). Ils sont à la fois issus d'estimations *top-down* (macroéconomiques) et *bottom-up* (techniques).

Sur la base de ces résultats complétés de chiffrages en propre, **les besoins supplémentaires totaux bruts dans les actifs bas-carbone sont estimés à environ +110 Md€/an en 2030 par rapport à 2021, dont au plus +63 Md€/an en nets (i) des coûts des alternatives carbonées et (ii) des baisses dans la construction neuve (cf. Tableau 2).** Ils concernent principalement les bâtiments, les transports et de l'énergie, les études concernant les secteurs agricole, forestier et des déchets restant encore peu développées :

- Bâtiments (+39 Md€/an) : Les investissements concernent l'isolation et les changements de vecteurs de chauffage. Les besoins du résidentiel seraient plafonnés à +22 Md€/an en 2030 en ciblant des gestes coûts-efficaces et les économies associées sur la facture énergétique pourraient atteindre jusqu'à 10 Md€/an. Dans des scénarios ambitieux de modération foncière, les besoins pourraient être en partie couverts par une redirection des investissements de la construction neuve.
- Transports (+43 Md€/an) : Les besoins sont portés principalement par ceux liés à l'achat de véhicules routiers bas-carbone, qui sont compris entre +34 et +43 Md€/an. Leur surcoût serait toutefois limité à entre +4 et +13 Md€/an par rapport aux véhicules thermiques. La baisse des achats de véhicules thermiques représenterait par ailleurs jusqu'à -32 Md€/an en 2030. Une moindre sobriété dans la demande de véhicules augmenterait les investissements dans les véhicules électriques et thermiques jusqu'à +19 Md€/an. Enfin, les économies sur la facture énergétique liées au passage des véhicules particuliers thermiques à ceux électriques atteindraient environ 9 Md€/an en moyenne jusqu'en 2030.
- Énergie (+17 Md€/an) : Les besoins sont portés par la production d'électricité et de gaz renouvelables et augmenteraient à l'horizon 2050 pour absorber la hausse de la demande en électricité. Une forte incertitude subsiste, liée à l'effet prix sur les coûts de production⁶⁵ et aux hypothèses de sobriété.
- Industrie (+5 Md€/an avec les surcoûts Opex) : Ces besoins sont établis à iso-production, incluent les surcoûts d'opération et recouvrent des leviers divers⁶⁶. Leur niveau relativement faible par rapport aux secteurs précédents pourrait s'expliquer par un tendancier d'émissions déjà en baisse grâce à des investissements déjà relativement élevés ces dernières années.
- Agriculture (au minimum +1 Md€/an pour la SNBC2) et forêt (+4 Md€/an) : notamment dans la reforestation, l'électrification des agroéquipements et les changements de pratique. Ces chiffres sont partiels car ils n'intègrent que partiellement les dernières données sur la dégradation du puits de carbone forestier.
- Déchets (+1 Md€/an pour la SNBC2) : notamment dans la valorisation thermique et la méthanisation mais les études sont frustes sur ce secteur.

Cet ordre de grandeur est cohérent avec les résultats du rapport Pisani-Ferry – Mahfouz, qui les chiffrait en 2030 à +101 Md€/an en brut sur un périmètre plus restreint et par rapport à un contrefactuel différent, en s'appuyant en partie sur les chiffrages en propre présentés dans ce document (+66 Md€/an nets de la baisse d'investissements carbonés). Ces résultats demeurent soumis à d'importants aléas invitant à les considérer comme un ordre de grandeur des besoins pour la transition. Par ailleurs, n'intégrant pas de nombreuses dimensions (économies sur la facture énergétique, vision en surcoût, répartition public-privé, etc.), ils ne peuvent pas être assimilés à une mesure du « surcoût total net » de la transition écologique.

⁶⁵ Hausse des coûts de production non répercutée dans les prix projetés, faisant diminuer les montants supplémentaires.

⁶⁶ Augmentation de l'efficacité énergétique, électrification, chaleur basse température, captage et stockage du carbone, etc.

Tableau 2 : Résumé des chiffrages de besoins d'investissements bas-carbone retenus par secteur

Secteur		Présent document de travail ⁶⁷	Pisani Ferry – Mahfouz (Recalculs des auteurs ⁶⁸)	Fourchette des évaluations mobilisées
Total	Bruts	+110 Md€/an	+101 Md€/an (+94 Md€/an)	De +55 à +130 Md€/an
	Nets	+63 Md€/an	+66 Md€/an (+60 Md€/an)	Non évalué
Bâtiment	Bruts	+39 Md€/an avec redirection vers des investissements coût-efficacients	54 Md€/an non supplémentaires (+34 Md€/an)	De +15 à +43 Md€/an
	Coût de l'alternative carbonée	-6 Md€/an	(-6 Md€/an)	Non étudié
	Baisse construction neuve	-12 Md€/an	Non étudié	De +4 à -15 Md€/an
	Pour information : Économies énergétiques (résidentiel)	Jusque -10 Md€/an	Non étudié	Non étudié
Transport	Bruts	+43 Md€/an	+32 Md€/an (+46 Md€/an)	De +34 à +57 Md€/an
	Coût de l'alternative carbonée	-29 Md€/an	(-27 Md€/an)	Jusque -32 Md€/an
	Pour information : Économies énergétiques (véhicules routiers)	-9 Md€/an	Non étudié	Non étudié
	Pour information : véhicules électriques évités par des mesures de sobriété	-13 Md€/an	(Au moins -11 Md€/an ⁶⁹)	Non étudié
Énergie		+17 Md€/an	+8 Md€/an	+5 à +17 Md€/an
Industrie*		+5 Md€/an	+4 Md€/an minimum	Jusque +5 Md€/an
Agriculture et forêt		+5 Md€/an	+2 Md€/an**	Jusque +6 Md€/an
Déchets		+1 Md€/an	Non évalué	Jusque +1 Md€/an

*Avec OPEX.

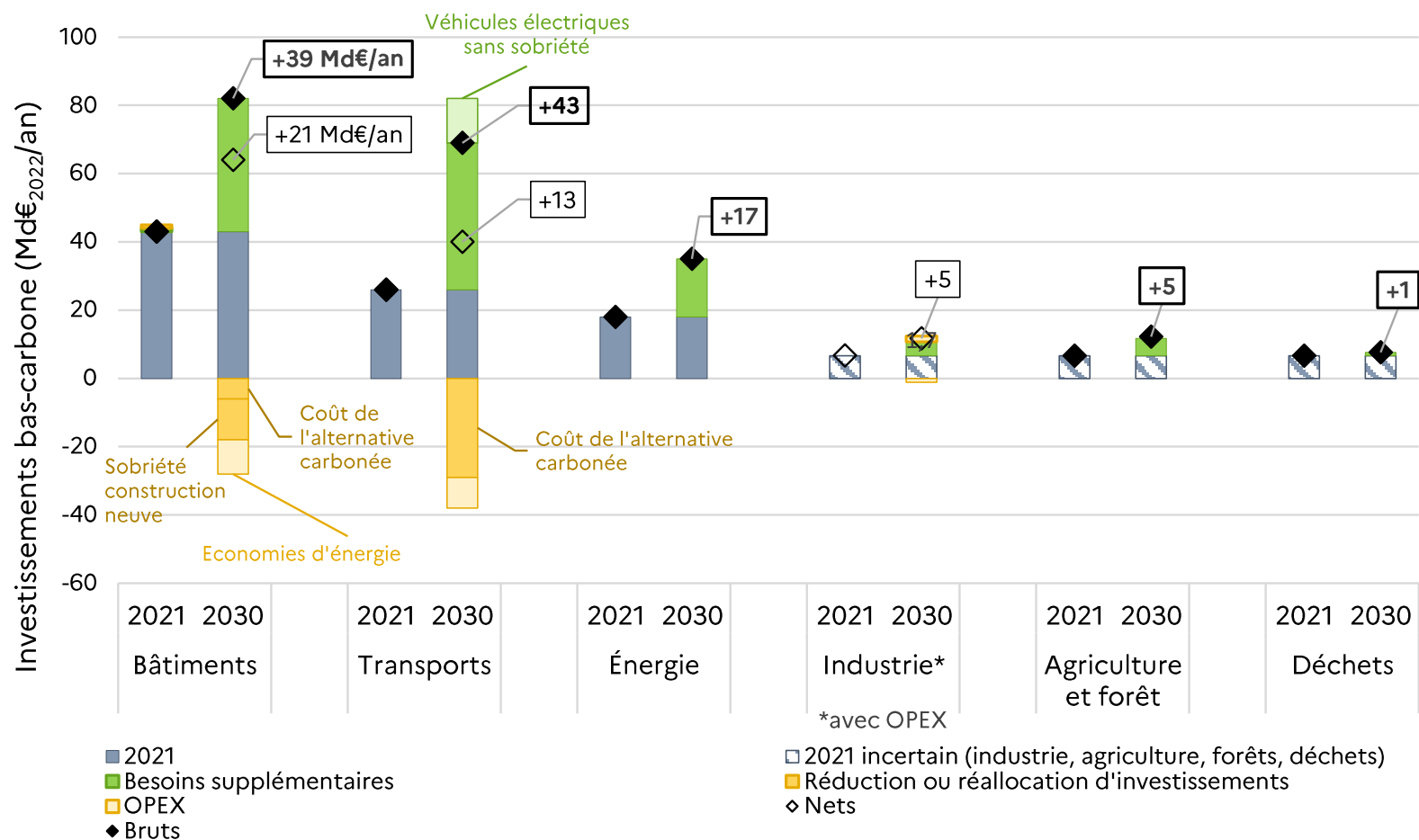
**Agriculture uniquement.

⁶⁷ Sources : Résidentiel, transport hors infrastructures et renouvellement forestier : chiffrage des auteurs ; Tertiaire et construction neuve : I4CE (2023a) SNBC-3 ; Infrastructures de transport : JPF-SM (2023) ; Énergie : borne haute RTE (2023) ; Industrie : DGE (2023) dont investissements à l'achat pris en non supplémentaires ; Agriculture : borne inférieure des chiffrages mobilisés ; Forêt hors renouvellement forestier : moyenne des chiffrages disponibles ; Déchets : Rexecode (2022).

⁶⁸ Les résultats du rapport Pisani Ferry – Mahfouz ont été établis en non supplémentaires pour le bâtiment et pour les autres secteurs en supplémentaires par rapport à un scénario tendanciel de hausse des investissements bas-carbone sur la période 2021-2030. Les montants supplémentaires par rapport à 2021 ont nécessité des recalculs des auteurs.

⁶⁹ Véhicules particuliers uniquement

Graphique 10 : Répartition par secteur des investissements bas-carbone en 2021 et 2030



Sources : Résidentiel, transport hors infrastructures et renouvellement forestier : chiffrage des auteurs ; Tertiaire et construction neuve : I4CE (2023a) SNBC3 ; Infrastructures de transport : JPF-SM (2023) ; Énergie : borne haute RTE (2023) ; Industrie : DGE (2023) dont investissements à l'achat pris en non supplémentaires ; Agriculture : borne inférieure des chiffrages mobilisés ; Forêt hors renouvellement forestier : moyenne des chiffrages disponibles ; Déchets : Rexecode (2022).

Bibliographie

France

- ADEME (2021), « [Plan de transition sectoriel de l'industrie cimentière en France](#) »
- ADEME (2022), « [Transition\(s\) 2050 – Choisir maintenant. Agir pour le climat. Feuilleton Les effets macroéconomiques.](#) »
- CGAAER (2022), « [Décarboner 100 % de l'énergie utilisée en agriculture à l'horizon 2050 : c'est possible !](#) »
- COI (2022), « [Investir plus et mieux dans les mobilités pour réussir leur transition.](#) »
- Citepa (2023), « [Rapport Secten – édition 2023](#) »
- Direction générale des entreprises (2023), Chiffrage interne
- Présent document de travail (2023), Chiffrage en propre des auteurs
- France Stratégie (2019), « [La valeur de l'action pour le climat - Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques](#) »
- I4CE (2021), « [Panorama des investissements climat – Édition 2021](#) »
- I4CE (2022), « [Panorama des investissements climat – Édition 2022](#) »
- I4CE (2023a), « [Panorama des investissements climat – Édition 2023](#) »
- I4CE (2023b), « [Investissements pour décarboner l'industrie lourde en France : quoi, combien et quand ?](#) »
- IDDRI (2021), « [Vers une transition juste des systèmes alimentaires -Enjeux et leviers politiques pour la France](#) »
- INSEE (2020), « [Prix social du carbone et engagement pour le climat : des pistes pour une comptabilité économique environnementale ?](#) », *Insee Analyses* n°56.
- Germain J.-M. & Lellouch T. (2020), « [Coût social du réchauffement climatique et indicateurs de soutenabilité : les enseignements d'une application à la France](#) », *Économie et Statistique*, 517-518-519, 81–102.
- Institut Rousseau (2022), « [2 % pour 2°C ! Les investissements publics et privés nécessaires pour atteindre la neutralité carbone de la France en 2050](#) ».
- Pisani-Ferry J., Mahfouz S. (JPF-SM) (2023), « [Les incidences économiques de l'action pour le climat](#) », France Stratégie, *Note de synthèse*.
- Rexecode (2022), « [Les enjeux économiques de la décarbonation de la France. Une évaluation des investissements nécessaires](#) », *Document de travail* n° 83.
- RTE (2020), « [Réduction des émissions de CO₂, impact sur le système électrique : quelle contribution du chauffage dans les bâtiments à l'horizon 2035 ?](#) »
- RTE (2023), « [Bilan prévisionnel – Édition 2023, Futurs énergétiques 2050 – 2023-2035 : première étape vers la neutralité carbone. Principaux résultats](#) »

Europe

Commission européenne (2021a) [SWD 2021 662 final](#)

Commission européenne (2021b), [SWD 2021 623](#)

Commission européenne (2023), [SWD 2023 68](#)

Carraro C. (2022), « [Macroeconomic costs and financial needs of the Eu post-covid transition to carbon neutrality](#) », in *A New Era for Europe*, pp. 108-136, Commission européenne.

GFMA, BCG (2020), « [Climate finance markets and the real economy](#) »

Monde

IEA (2021), « [Net Zero by 2050](#) »

BloombergNEF (2021), « [New Energy Outlook](#) »

Mc Kinsey (2022), « [The Net Zero Transition](#) »

Annexe 1 – Principaux résultats de besoins d'investissements avant harmonisation des résultats, par étude et par secteur

Les études et périmètres varient fortement mais les résultats sont globalement compris entre +1,5 et +5 % du PIB, et centré vers +2 pts de PIB. Les résultats présentés en tableau 3, non harmonisés, donc directement issus des études mobilisées sans recalcul.

Tableau 3 : Principaux résultats de besoins d'investissements additionnels moyens pour la décarbonation en France, non harmonisés

Source	Objectif	Besoins d'investissements climat	Types de besoins étudiés	Scénario de référence
Insee (2020)	Net zéro 2050	+1,5 à +5 % du PIB à l'horizon 2050 +2,6 % _{PIB} /an dans le scénario central	Supplémentaires nets des réorientations macroéconomiques	Historique récent (avant reprise Covid)
ADEME (2022)	Net zéro 2050	+46 à +57 Md€/an moyennés jusque 2030	Supplémentaires bruts	2021 (avant reprise Covid)
France Stratégie (2019)	Net zéro 2050	+60 Md€/an en 2040 par rapport à un scénario tendanciel	Supplémentaires nets des baisses d'investissements fossiles	2040 (légèrement différent de SNBC2)
Rexecode (2022)	Net zéro 2050	+81 Md€/an en 2030	Supplémentaires en surcoût (nets de l'alternative carbonée)	Scénario tendanciel (avant reprise Covid)
Institut Rousseau (2022)	Net zéro 2050	+57 Md€/an moyennés jusque 2050	Supplémentaires nets des réorientations sectorielles	Scénario tendanciel (avant reprise Covid)
I4CE (2023a)	-55 % en 2030	+79,9 Md€/an 2030	Supplémentaires bruts	2022 (post-Covid)
JPF-SM (2023)	-55 % en 2030	+100 Md€/an bruts et +66 Md€/an nets des baisses d'investissements fossiles, en 2030	Mix entre non supplémentaires bruts et en surcoût (nets de l'alternative carbonée)	Mix entre aujourd'hui, historique passé et tendanciel

Source : Auteurs, sur la base des résultats des études citées.

Annexe 2 – Revue des estimations actuelles de besoins d'investissements supplémentaires aux niveaux mondial et européen

Les études mobilisées pour les conclusions de cette Annexe sont détaillées dans le Glossaire.

Au niveau européen, pour atteindre l'objectif de -55 % de réduction des émissions nettes en 2030, la Commission européenne estime les besoins bruts supplémentaires à **+477 Md€₂₀₂₂/an d'ici 2030 (+3 %_{PIB} environ)** pour la décarbonation des postes énergétiques (hors émissions de procédés dans l'industrie, ou émissions dans l'agriculture par exemple), par rapport à la moyenne des dix dernières années. 45 % seraient dédiés aux transports, 40 % au bâtiment, et seulement 15 % à la production d'énergie. Cela correspond à +0,8 %_{PIB} (+90 Md€/an) supplémentaires jusque 2030 par rapport aux besoins pour l'atteinte du précédent objectif de -40 %.

Au niveau mondial, pour atteindre la neutralité carbone en 2050⁷⁰, les besoins bruts supplémentaires sont estimés par différentes études à de l'ordre **+2 %_{PIB}/an** en moyenne par rapport à la situation actuelle, soit +3 000 à 3 500 Md\$/an. Les trois quarts seraient dédiés aux secteurs des transports, du bâtiment et de la production d'énergie et seraient maximaux sur la période 2026-2030. Par rapport à un scénario tendanciel d'investissements prévus à la hausse⁷¹, le surplus nécessaire serait de **+900 Md€/an**.

Le cumul total des investissements climat (cumul des investissements actuels et des besoins d'investissements futurs) atteindrait par ailleurs 7,6 %_{PIB} en moyenne entre 2020 et 2050. Cette estimation est supérieure à la moyenne de celles de la littérature actuelle (allant de 1,3 à 14,6 %_{PIB} pour la période 2020-2030⁷²). À titre indicatif, ces investissements pourraient représenter 7,4 % du PIB français en 2030 (84 Md€ constatés en 2021 selon l4CE et +100 Md€/an de besoins en 2030 selon le rapport JPF-SM).

Encadré 20 : L'exemple de l'estimation des besoins d'investissements au Royaume-Uni

Dans son *Fiscal risks report* de juillet 2021, l'*Office for Budget Responsibility* présente les résultats de besoins d'investissements calculés par le *Climate Change Committee* (CCC) britannique. Les investissements sont calculés soit en coûts annuels, soit en coûts cumulés actualisés et à la fois en surcoûts par nets des investissements fossiles encourus dans le scénario de référence et des économies d'exploitation.

Ainsi, les besoins d'investissements supplémentaires nets atteignent un maximum en 2027 à plus de +42 Md£₂₀₁₉/an (soit environ +2 pt_{SPIB2019}/an). Les coûts d'investissement sont concentrés en début de période et les économies à l'exploitation sont significatives mais plus tardives : par exemple, le coût annualisé dans la trajectoire équilibrée s'élève à 16 Md£₂₀₁₉/an en 2050, comparé à une économie de 19 Md£₂₀₁₉ cette année-là.

Si les besoins d'investissements bruts sont conséquents dans les transports, ce sont les secteurs de l'électricité et du bâtiment qui contribuent le plus aux besoins d'investissements nets cumulés à l'horizon 2050 (37 et 28 % respectivement), notamment grâce à de fortes économies à l'exploitation des véhicules. Les contributions importantes des secteurs de l'électricité et du bâtiment reflètent la forte augmentation de la production d'électricité ainsi que la plus faible coût-efficacité de la décarbonation dans le bâtiment.

⁷⁰ Les scénarios étudiés varient, mais respectent à minima un objectif de réchauffement global moyen à +2°C à l'horizon 2100.

⁷¹ *Ibid*, Menant à un réchauffement global moyen à +3°C à l'horizon 2100.

⁷² IMF 2021, *Reaching net zero emissions*, p.16. Elle correspond à une borne haute car ne se limite pas à la transformation des produits énergétiques : elle inclut l'agriculture et la maintenance des produits carbonés.