

Etude des bénéfices liés au développement des énergies renouvelables et de récupération en France

Impacts économiques et sur les émissions de gaz à effet de serre liés à la diminution des importations de combustibles entre 2000 et 2028

SYNTHESE

Février
2022



EXPERTISES

REMERCIEMENTS

Les auteurs de ce rapport souhaitent remercier les membres du comité de pilotage de l'étude pour leur participation et pour les éclairages apportés sur les analyses effectuées, les principales hypothèses et résultats. En particulier, nous souhaitons remercier Albuquerque Maria (Veolia), Arnaud Brice (ADEME), Parrouffe Jean-Michel (ADEME), Cousin Stéphane (Comité Interprofessionnel du Bois Energie), Descat Marie (Fédération des services énergie et environnement), Demoures Sylvain (Syndicat National des Producteurs d'Alcool Agricole.), Diallo Mamadou Mouctar (Groupe Avril), Eglin Thomas (ADEME), Forcet Bérengère (Fédération des services énergie et environnement), Genthon Bénédicte (ADEME), Godin Olivier (SolisArt), Goudal Etienne (GRdF), Guichaoua Even (Veolia), Iazard Joséphine (Direction Générale de l'Energie et du Climat), Khebchache Bouzid (ADEME), Lallemand-Kirche Louis (Direction Générale de l'Energie et du Climat), Laplagne Valérie (Uniclimate), Langlois Pierre-Albert (France Energie Eolienne), Laugier Patrick (ENGIE, Fédération des services énergie et environnement), Louillat Stefan (ADEME), Morville Jérôme (Syndicat des énergies renouvelables), Mouret Louna (Direction Générale de l'Energie et du Climat), Peraudeau Nicolas (ADEME), Petit Jean-Pierre (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation), De Roeck Yann-Hervé (France Energies Marines), Ruamps Rachel (France Energie Eolienne), Simon Jérémy (Syndicat des énergies renouvelables).

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME, Artelys, Carpenè L., Peraudeau N., Eglin T., Chammas M., Humberst L., Michelet A., 2022.

Synthèse de l'étude des bénéfices liés au développement des énergies renouvelables et de récupération en France entre 2000 et 2028. 19 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2020MA000133

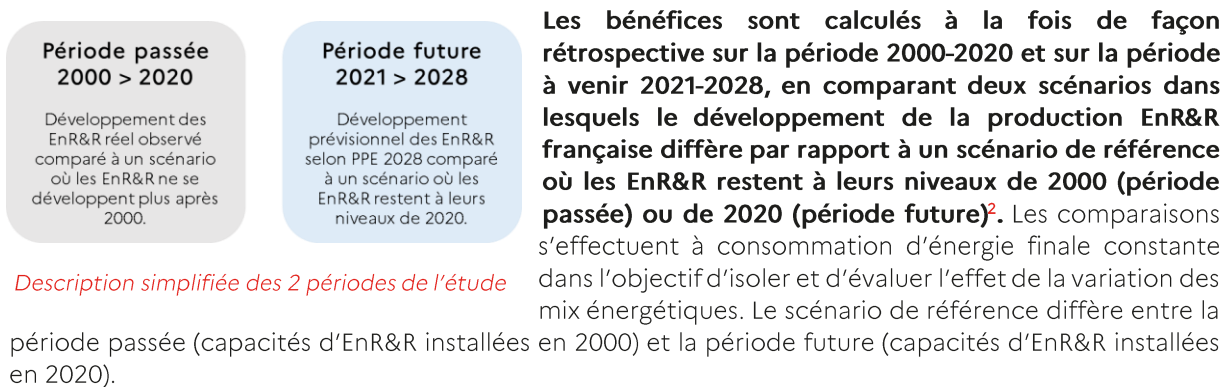
Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par ARTELYS : Maxime CHAMMAS (directeur de projet), Luc HUMBERSET (chef de projet), Agnès MICHELET (modélisations et analyses).

Coordination technique - ADEME : Brice ARNAUD, Lilian CARPENE et Nicolas PERAUDEAU.

Direction/Service : Direction Exécutive de l'Expertise et des Programmes, Service Réseaux et Énergies Renouvelables.

En France, en 2019, le coût des importations de combustibles fossiles et les émissions de gaz à effet de serre (GES) de ces combustibles se sont élevés à environ 45 milliards d'euros¹ et 440 millions de tonnes CO₂-eq respectivement. Face au double défi de réduire ce coût, et les émissions de GES, les pouvoirs publics ont depuis plus de deux décennies soutenu l'émergence des énergies renouvelables et de récupération (EnR&R). Alors qu'elles représentaient 9,3% de la consommation d'énergie finale en 2005 (pour 180 TWh), et 19,1% en 2020 (322 TWh), les objectifs de la Programmation Pluriannuelle de l'Energie sont de porter la part des EnR&R (électricité, chaleur, biogaz, biocarburant) dans la consommation finale brute d'énergie entre 32 et 35% en 2028 (soit entre 477 et 529 TWh).

C'est dans ce contexte que cette étude propose d'estimer les effets du développement des EnR&R et en particulier les bénéfices économiques liés à la diminution des importations de combustibles et les bénéfices climatiques liés aux diminutions des émissions de gaz à effet de serre (GES).



La construction des scénarios intègre les spécificités du panorama énergétique français en décomposant celui-ci selon les technologies de production et les systèmes énergétiques (électricité, chaleur, biogaz, biocarburants). Pour l'électricité, l'analyse repose sur des simulations horaires de l'équilibre offre-demande français et européen. Dans cette étude, à partir des substitutions énergétiques identifiées par comparaison des deux scénarios, les bénéfices en France et en Europe sont évalués en s'appuyant sur des hypothèses de prix³ et de contenu CO₂-eq⁴ pour les combustibles fossiles et fissiles.

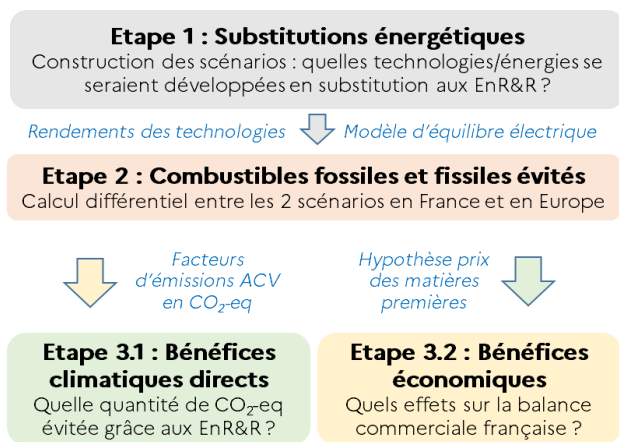


Schéma simplifié de la méthode utilisée dans l'étude

L'étude montre l'intérêt majeur du développement des EnR&R sur la réduction des importations de combustibles fossiles sur la période 2000-2019⁵, porté pour une grande moitié par les diminutions de combustion fossile pour la production d'électricité en France et en Europe (exportations) et pour le reste par une diminution de la consommation de gaz et de fioul avec le développement de la chaleur renouvelable et une diminution de la consommation de diesel et d'essence avec le développement des biocarburants conventionnels. **En cumulé sur la période 2000-2019, le développement des EnR&R en**

¹ Les importations d'uranium nécessaires au fonctionnement des centrales nucléaires qui ne sont pas comprises dans ce calcul représenteraient entre 500 millions € et 1 milliard € par an (SFEN, 2017).

² Les bénéfices économiques et environnementaux liés au développement des EnR&R sont pris en compte jusqu'en 2020 (sur la période passée) et 2028 (sur la période future).

³ Période passée : données SDES ; période future : scénario « Sustainable Development » du WEO 2020 de l'AIE

⁴ Certains facteurs d'émissions ne tiennent pas compte de l'ensemble des phases du cycle de vie, faute de données

⁵ L'année 2020, atypique en raison de l'émergence du COVID-19, a été exclue de l'analyse.

France (1 260 TWh_{ep}) a ainsi permis d'éviter la consommation de 1 468 TWh_{ep} de combustibles fossiles en France et en Europe (grâce aux exportations d'EnR&R), de réduire de 426MtCO_{2-eq} les émissions en France et en Europe, et de réduire de 40 milliards d'EUR₂₀₁₉ la facture énergétique française (soit 22 milliards d'EUR₂₀₁₉ de combustibles substitués par des EnR&R en France et 18 milliards d'exportations de biocarburants et d'électricité vers le reste de l'Europe). En moyenne, chaque TWh d'EnR&R additionnelle a permis d'éviter 1,17 TWh de productions fossiles.

Ces tendances se poursuivront jusqu'en 2028 avec cependant une substitution des EnR&R à des productions moins carbonées sur la période future. Pour la chaleur renouvelable, la substitution du fioul et du charbon se fait essentiellement par les EnR&R et le gaz naturel utilisé parfois en appoint. Pour la partie électrique, les productions d'électricité renouvelable supplémentaires viendront en partie effacer de la production nucléaire (jusqu'à 33 % de l'énergie renouvelable supplémentaire vient en remplacement de production nucléaire en 2028). Cet effet pourrait être plus modéré si la disponibilité de l'énergie nucléaire venait à diminuer ou si les flexibilités de la consommation ou les interconnexions progressaient. Par ailleurs, cette substitution permet de pallier progressivement les fermetures de centrales nucléaires prévues dans la PPE, et anticipées à l'horizon 2028. Ainsi, **le développement des EnR&R en France selon la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (725 TWh_{ep}), devrait permettre d'éviter, en cumulé sur la période 2021-2028, au périmètre français et européen 685 TWh_{ep} de combustion d'énergie fossiles, l'émission de 169 MtCO_{2eq} et de réduire de 6,4Mrds€ la facture énergétique française liées aux importations de combustibles fossiles.** En moyenne, chaque TWh d'EnR&R additionnelle permettra d'éviter 0,95 TWh de fossiles.

Les bénéfices économiques liés aux importations d'énergie fossiles évitées sur la période 2000-2028, de l'ordre de 30 Mds EURO₂₀₁₉, permettent ainsi, au même titre que d'autres bénéfices macro-économiques indirects (création d'emplois par ex) de réduire le coût de la politique de soutien aux EnR&R, estimé par la Cour des comptes à environ 6Mrd€/an en 2016⁶.

Cette synthèse met en avant 7 résultats clés de l'étude. Les messages 1 à 3 concernent la période rétrospective et les messages 4 à 7 concernent la période future. Les estimations réalisées pour la période future ne peuvent être directement comparées à celles de la période passée, car le scénario de référence diffère entre la période passée (capacités d'EnR&R installées en 2000) et la période future (capacités d'EnR&R installées en 2020).

Cette étude a été menée dans le cadre d'une concertation élargie rassemblant un large panel d'acteurs du secteur énergétique français.

Le lecteur pourra se référer au rapport complet de l'étude pour plus de détails sur l'ensemble des résultats et hypothèses. Une analyse de sensibilité sur les prix des combustibles et le prix du carbone est réalisée.

⁶ <https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2018-04/20180418-rapport-soutien-energies-renouvelables.pdf>, page 48

Résultat clé n°1 : Le développement additionnel des EnR&R en France entre 2000 et 2019 a permis d'éviter la consommation de 1 468 TWh_{ep} de combustibles fossiles, en France et en Europe, soit l'équivalent de plus de 910 millions de barils de pétrole en cumulé. Pour 2019, cela représente 178 TWh_{ep} de combustibles fossiles évités en Europe, dont 63 TWh_{ep} en France, soit 5 % des quantités d'énergies fossiles consommées en France cette année-là. En moyenne, chaque TWh d'EnR&R additionnelle a permis d'éviter 1,17 TWh de fossiles sur la période 2000-2019.⁷

Sur la période historique, le développement de la chaleur renouvelable a été variable en fonction des secteurs. Dans le résidentiel et le tertiaire, le développement des EnR&R est porté principalement par l'augmentation de la production de chaleur renouvelable grâce au bois énergie et aux pompes à chaleur. Dans l'industrie, la croissance des EnR&R dans la production de chaleur s'appuie principalement sur l'augmentation de la consommation de biomasse. **Les réseaux de chaleur** se sont considérablement développés et verdés sur la période. Ces développements ont permis une réduction de la consommation de gaz et de fioul, très influencée par le développement des EnR&R dans le résidentiel puis dans l'industrie.

En ce qui concerne le secteur électrique, l'analyse des mix horaires montre que le développement des EnR&R électriques sur la période, porté en particulier par l'éolien et le solaire, s'est fait principalement **en réduisant la production du parc de centrales thermiques fossiles et des imports nets en France, sans effet notable sur la production nucléaire.** Le développement des EnR&R électriques est complémentaire à la production nucléaire sur la période historique.

Tous secteurs confondus, le développement des énergies renouvelables en France sur les 20 dernières années a permis d'économiser 722 TWh_{ep} de combustibles fossiles en France sur cette période (dont 51 % de pétrole et produits pétroliers raffinés, 40 % de gaz et 9 % de charbon) et 746 TWh_{ep} de combustibles fossiles ailleurs en Europe du fait des exportations françaises d'électricité renouvelable⁸ et de biocarburants (dont 8 % de pétrole et produits raffinés, 51 % de gaz et 41 % de charbon).

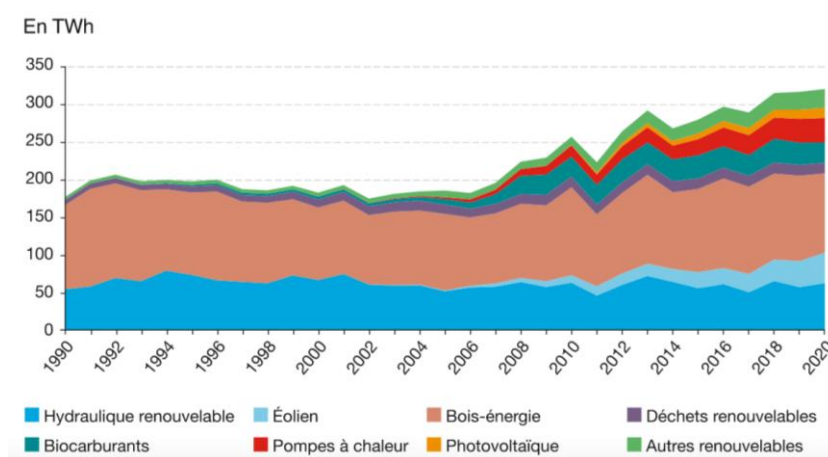


Figure 1 - Evolution de la production primaire d'énergies renouvelables en France entre 1990 et 2020. Les DROM sont inclus à partir de l'année 2011. Source : Les chiffres clés des énergies renouvelables - édition 2021, SDES.

⁷ Cette substitution est de 1 pour la chaleur, les biocarburants et le biogaz dans les réseaux. Elle est ici supérieure à 1, car l'électricité renouvelable a substitué de la production d'électricité à partir de centrales thermiques en Europe.

⁸ Pour la période 2000-2019, imports et exports ont été modélisés en considérant une capacité d'échange et un prix de l'électricité pour les pays voisins (cf. rapport).

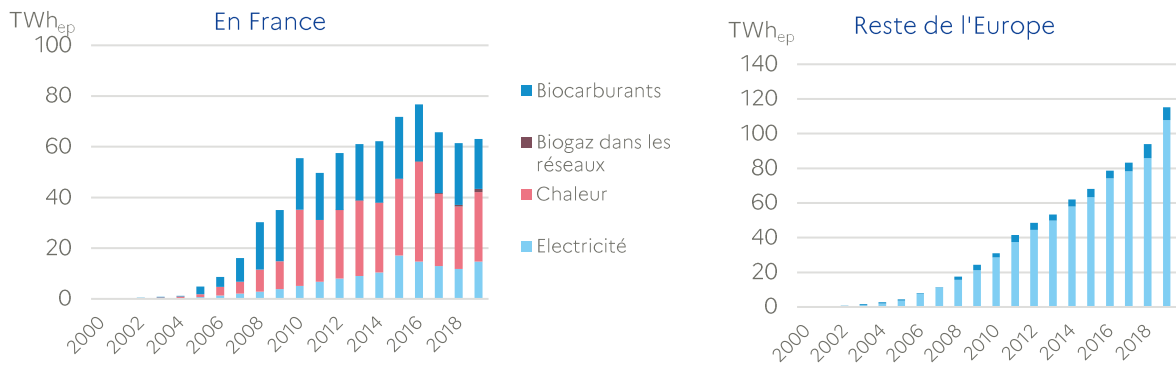


Figure 2 - Consommation évitée de combustibles fossiles en France et en Europe, par vecteur énergétique renouvelable. NB : la baisse de consommation en France entre 2015 et 2019 s'explique principalement par une baisse de la consommation de chaleur dans l'industrie et des changements structurels dans le mix électrique.

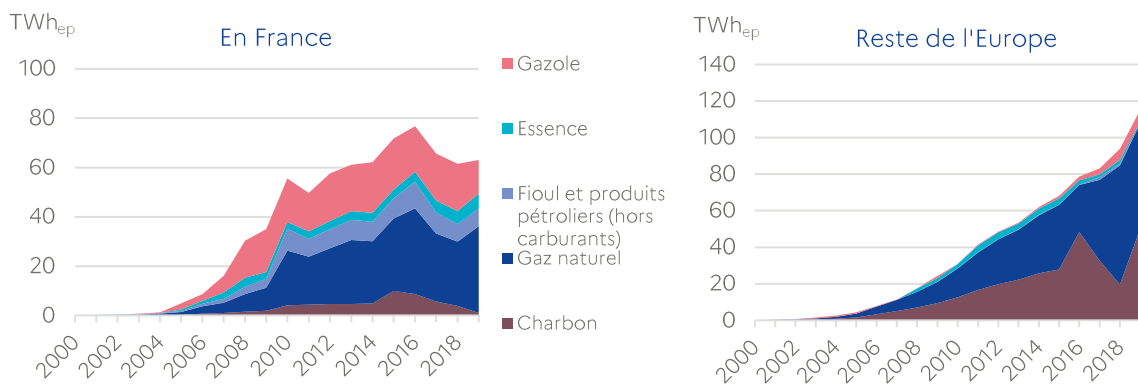


Figure 3 - Consommation évitée de combustibles fossiles en France et en Europe, par combustible

Résultat clé n°2.1: Le développement des EnR&R en France entre 2000 et 2019 a permis de réduire en cumulé de 206 Mt de CO₂-eq les émissions liées à la consommation de combustibles fossiles en France, et de 220 Mt de CO₂-eq dans le reste de l'Europe grâce aux exportations d'électricité renouvelable et de biocarburants. Pour 2019, ce sont 17 Mt de CO₂-eq qui n'ont pas été émises en France soit 4,2 % des émissions totales du pays, ainsi que 34 Mt de CO₂-eq chez nos voisins européens soit environ 1% des émissions totales de GES de l'Union Européenne⁹.

Résultat clé n°2.2: Par ailleurs, sur cette même période, le développement des EnR&R en France a émis 55 Mt de CO₂-eq¹⁰ en cumulé sur la période (sans compter la réduction de 206 Mt de CO₂-eq liées à la consommation de combustibles fossiles en France), dont respectivement 71 %, 16 % et 4 % liés aux biocarburants, à la biomasse solide et au biogaz, et 9 % liés aux EnRs électrique. Pour 2019, ce sont 5 Mt de CO₂-eq qui ont été émises par le développement des EnR&R en France, ce qui représentait environ 1 % des émissions totales de la France¹¹.

Résultat clé n°2.3 : Le bilan net entre émissions évitées par la substitution de combustibles fossiles (Résultat clé n°2.1) et émissions directes générées par le développement des EnR&R (Résultats clé n°2.2) est donc largement positif (= 206 – 55 MtCO₂-eq sur la période 2000-2019). Ce gain peut néanmoins être réduit si ce développement affecte de manière importante la séquestration de carbone dans les écosystèmes, notamment via des changements d'affectation des terres comme ceux engendrés par le développement des biocarburants conventionnels (dits de 1^{ère} génération).

Les émissions évitées de CO₂-eq sont déterminées à partir de l'ensemble des substitutions énergétiques liées au développement des énergies renouvelables en France, et des facteurs d'émission de la base carbone ADEME. L'étude prend en compte les émissions liées à la phase de production d'énergie, ce qui correspond à la phase de combustion lors des procédés thermiques, ainsi que **les émissions des autres phases du cycle de vie (fabrication, transport, fin de vie...)** lorsque la donnée est disponible, et sachant que **les périmètres d'ACV pris en compte ne sont pas tous strictement les mêmes (faute de données disponibles)**. Toutefois, les facteurs d'émissions ne proviennent pas tous d'ACV réalisées selon la norme ISO 14044, la seule à même de fiabiliser les évaluations des émissions sur tout le cycle de vie¹². Les **facteurs d'émissions** utilisés sont disponibles dans le rapport d'étude.

Concernant le secteur électrique, les résultats confirment que le déploiement de l'éolien et du photovoltaïque a permis d'éviter de recourir aux moyens de production thermiques. En effet, ces capacités renouvelables se sont développées de manière additionnelle aux capacités nucléaires disponibles (en diminution structurelle ces dernières années) et hydraulique. Ces résultats confirment les analyses réalisées par RTE, dans sa note relative aux bilans CO₂¹³.

⁹ Les émissions de l'UE-27 se sont élevées à 3 361 MtCO₂-eq en 2019, secteur UTCATF inclus (source : SDES – Chiffres clés du climat)

¹⁰ Hors prise en compte des incidences sur la séquestration de carbone.

¹¹ Les émissions de la France se sont élevées à 405 MtCO₂-eq en 2019, secteur UTCATF inclus (source : SDES – Chiffres clés du climat)

¹² Pour le nucléaire en particulier, la valeur ne provient pas d'une analyse du cycle de vie complet du parc nucléaire français réalisée selon la norme ISO 14040 qui seule permet d'assurer que l'ensemble du cycle de vie est bien pris en compte. A l'échelle mondiale, le groupe de travail 3 du GIEC recense dans la littérature une gamme de valeur allant de 4 à 110 gCO₂-eq/kWh (Bruckner T et al. 2014).

¹³ Pour 2019, RTE estimait les émissions évitées grâce au développement des EnR électriques en France à 5 Mt CO₂-eq en France et 17 Mt CO₂-eq chez nos voisins européens.

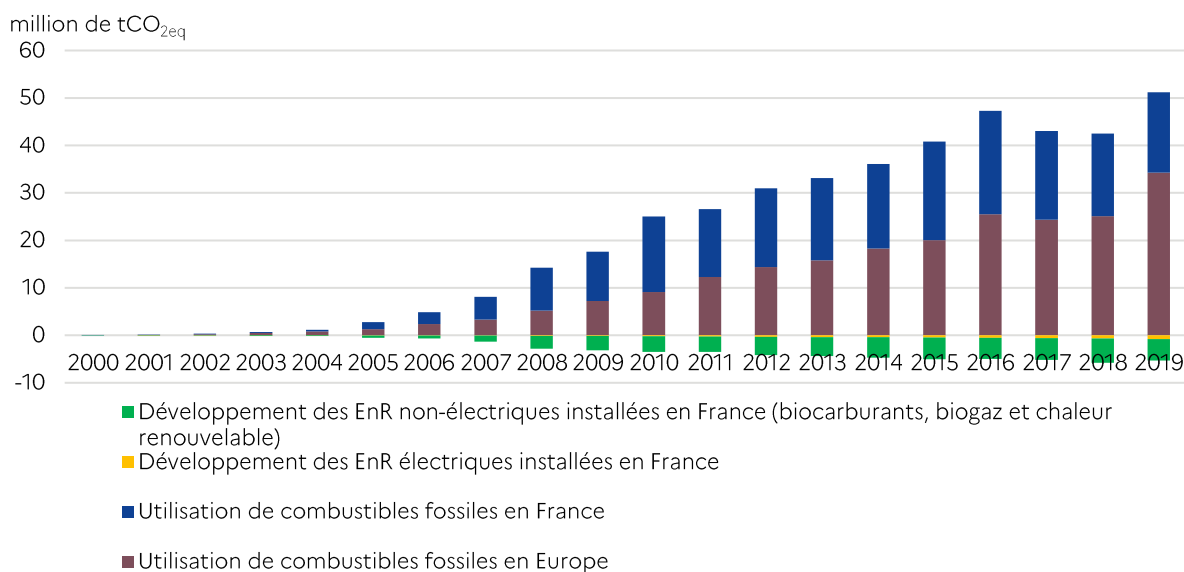


Figure 4 – Emissions de GES évitées par la substitution de combustibles fossiles et émissions de GES générées par le développement des énergies renouvelables en France entre 2000 et 2019. Les valeurs positives correspondent aux émissions évitées et les valeurs négatives aux émissions générées.

Le développement de certaines énergies renouvelables peut affecter la séquestration de carbone dans les écosystèmes et être ainsi à l'origine d'émissions de gaz à effet de serre et/ou à la réduction de puits de carbone. Il est donc indispensable de prendre en compte ces enjeux dans les bilans environnementaux^{14,15}. Ainsi, il est maintenant reconnu que le développement des biocarburants conventionnels (dits de première génération) est générateur de changements d'affectation des terres. Ils sont associés dans un certain nombre de cas à des émissions de gaz à effet de serre par déstockage du carbone contenu dans les écosystèmes affectés¹⁶. Une analyse de sensibilité basée sur les facteurs d'émissions disponibles pour les biocarburants conventionnels (dits de 1^{ère} génération) dans la Base Carbone (v20.2) de l'ADEME a été réalisée. Elle confirme que les émissions liées aux changements d'affectation des terres peuvent significativement réduire voire annuler les bénéfices climatiques des biocarburants conventionnels si des écosystèmes riches en carbone sont affectés.

¹⁴ Voir « Forêt, bois énergie et changement climatique - Avis d'expert de l'ADEME ». https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/5217-foret-bois-energie-et-changement-climatique.html#/44-type_de_produit-format_electronique

¹⁵ Voir « Cour des comptes. 2021. La politique de développement des biocarburants. S2021-1718 ».

¹⁶ Voir El Akkari, M., Réchauchère, O., Bispo, A. et al. « A meta-analysis of the greenhouse gas abatement of bioenergy factoring in land use changes ». Nature Scientific Reports 8, 8563 (2018). <https://www.nature.com/articles/s41598-018-26712-x>

Résultat clé n°3 : Le développement des EnR&R en France entre 2000 et 2019 a permis d'économiser en cumulé 22 milliards d'EUR₂₀₁₉¹⁷ sur la facture énergétique française liées aux importations de combustibles fossiles. Pour 2019, les économies d'importations nettes s'élèvent à 1,6 milliard d'euros soit environ 3,5% de la facture énergétique fossile. En cumulé entre 2000 et 2019, les exportations nettes supplémentaires permises par le développement des EnR&R ont rapporté l'équivalent de 18,1 milliards d'EUR₂₀₁₉ à la France, dont 13,1 milliards d'EUR₂₀₁₉ grâce aux exports d'électricité renouvelables et 5 milliards d'EUR₂₀₁₉ grâce aux exports de biocarburants. Pour la seule année 2019, ces exportations nettes supplémentaires d'énergie renouvelable rapportent 2,5 milliards d'EUR₂₀₁₉ à la France, dont 1,9 et 0,6 milliards grâce aux exports d'électricité renouvelable et de biocarburants respectivement.

En cumulé sur la période 2000-2019, en France, la facture énergétique d'importation de combustibles a été réduite de 22 milliards d'EUR₂₀₁₉. Le développement des biocarburants est le principal contributeur à cette économie (49 %), suivi par la chaleur renouvelable (39 %) et l'électricité (11 %), le reliquat étant porté par l'injection de biogaz dans le réseau.

Sur l'année 2019, en France, les importations évitées de combustibles fossiles s'élèvent à 1,6 milliard d'EUR₂₀₁₉, soit environ 3,6 % de la facture énergétique de la France liée à l'achat de combustibles fossiles en 2019.

Le développement des EnR a aussi permis de diminuer la facture énergétique française grâce aux exportations d'électricité renouvelable et de biocarburants vers nos voisins européens.

- En cumulé entre 2000 et 2019, les exportations nettes supplémentaires permis par le développement des EnR&R électriques ont rapporté l'équivalent de 13 milliards d'EUR₂₀₁₉ à la France. Les exportations nettes de biocarburants ont rapporté 5 milliards d'EUR₂₀₁₉.
- En 2019, les exportations nettes d'électricité renouvelable supplémentaires ont rapporté 1,9 milliard d'EUR₂₀₁₉ à la France, soit environ 4,2 % de la facture énergétique de la France liée à l'achat de combustibles fossiles en 2019.

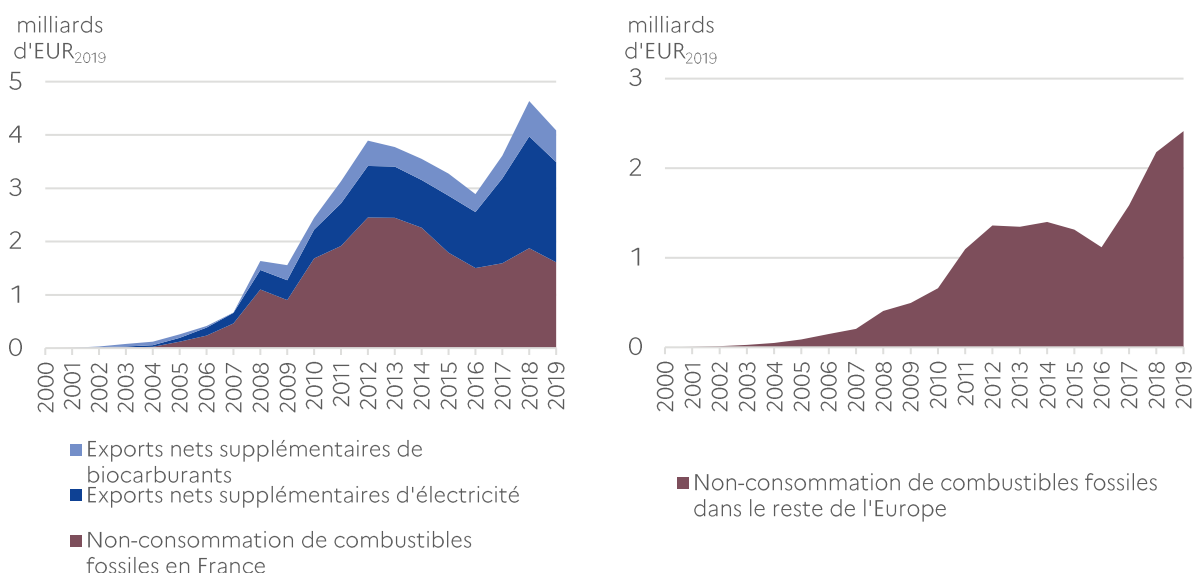


Figure 5 – Economies de combustibles fossiles réalisées entre 2000 et 2019 en France (gauche) et ailleurs en Europe (droite) sur la base des exportations

¹⁷ Les données monétaires sont toutes indiquées en euros constants à partir de l'année 2019. Les coûts sont déterminés en appliquant un coût unitaire des combustibles (source des données historiques: SDES) aux consommations supplémentaires d'énergies fossiles.

Résultat clé n°4 : Pour la période future et selon la PPE, entre 2021 et 2028, le développement des EnR&R en France devrait permettre d'éviter en France et ailleurs en Europe, la consommation de 685 TWh_{ep} de combustibles fossiles (80% de gaz) soit l'équivalent d'environ 1,5 fois la consommation annuelle actuelle d'électricité en France ou encore de plus de 420 millions de barils de pétrole en cumulé. Pour 2028, cela représente 135 TWh_{ep} de combustibles fossiles évités dont 69 TWh_{ep} en France, soit 5% des quantités d'énergies fossiles consommées en France en 2020.¹⁸ En moyenne, chaque TWh d'EnR&R additionnelle permettra d'éviter 0,95 TWh de fossiles sur la période 2021-2028.

En ce qui concerne la production de chaleur, la PPE prévoit principalement une augmentation de la production de chaleur au bois-énergie, aux pompes à chaleur et via des réseaux de chaleur, avec une augmentation forte de la géothermie, du biogaz, du solaire thermique et des centres de valorisation énergétique (CVE), comme on peut le voir dans la figure 6. Comme pour la période historique, cela permet principalement une réduction de la consommation de gaz. Ces effets sont notables dans le tertiaire, où le développement des réseaux de chaleur permettrait d'éviter de consommer jusqu'à 14 TWh_{ep} de combustibles fossiles annuellement.

En ce qui concerne le secteur électrique, pour lequel l'analyse est effectuée en intégrant le verdissement prévu des mix voisins¹⁹, le développement des énergies renouvelables électriques françaises (éolien photovoltaïque surtout) se fait principalement en remplacement de la production thermique fossile en France et dans le reste de l'Europe.

Tous secteurs confondus, l'atteinte des objectifs de la PPE permettrait d'économiser 330 TWh_{ep} de combustibles fossiles (dont 81% de gaz, 18% de pétrole et produits raffinés et 1% de charbon) en France sur la période 2021-2028. De plus, 355 TWh_{ep} de combustibles fossiles (dont 88% de gaz et 12% de charbon) seraient économisés ailleurs en Europe du fait des exportations d'électricité.

Il est important de noter que ces prévisions prennent en compte uniquement les objectifs de la PPE. L'impact des dispositifs annoncés en 2020 et 2021 (respectivement France Relance et France 2030) n'est pas pris en compte mais devrait être significatif²⁰.

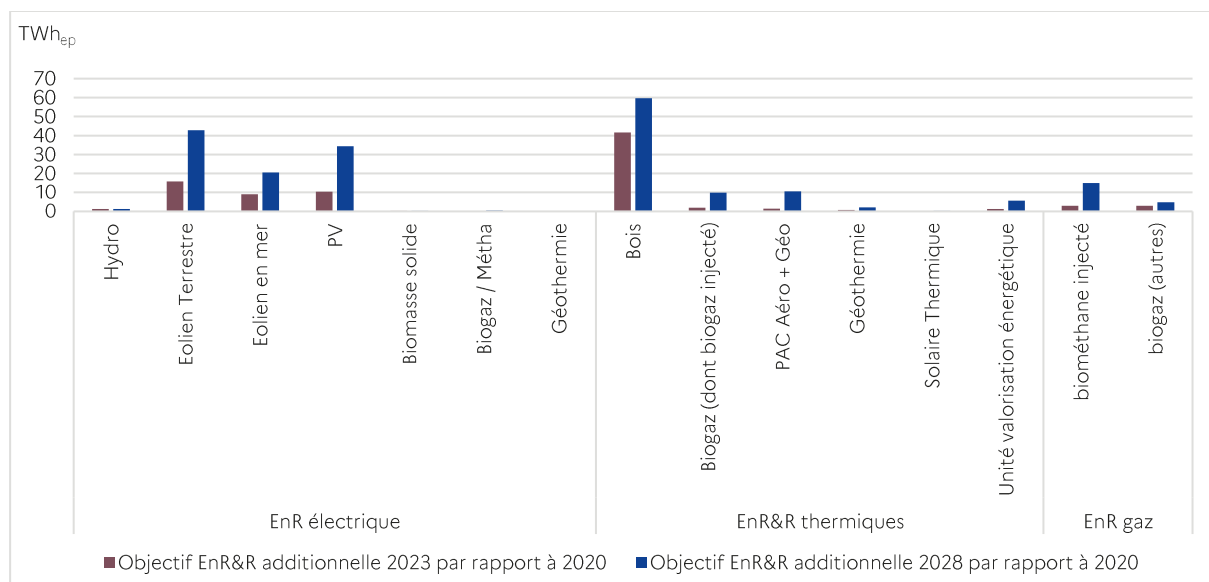


Figure 6 - Evolution des productions EnR&R électriques, thermiques et gaz par rapport à 2020 selon les objectifs PPE

¹⁸ Les estimations 2021-2028 sont données en différentiel par rapport au scénario de référence où on considère que les EnR&R ne sont plus développées après 2020. Il s'agit donc de bénéfices additionnels par rapport à la situation 2020. Autrement dit, les bénéfices de la période 2000-2020 ne sont pas inclus.

¹⁹ En se basant sur le scénario « National Trends » de l'édition 2020 du TYNDP de l'ENSTO-e.

²⁰ En particulier, le Fonds de Décarbonation de l'Industrie, opéré par l'ADEME, a ciblé en priorité les sites industriels fonctionnant au charbon et devrait avoir un effet significatif sur les émissions de la période 2021-2028.

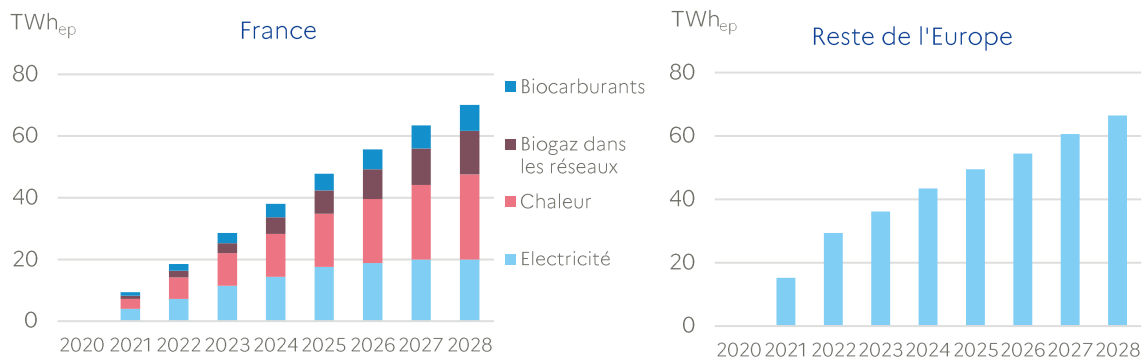


Figure 7 - Consommation évitée de combustibles fossiles en France et Europe, par vecteur énergétique renouvelable²¹

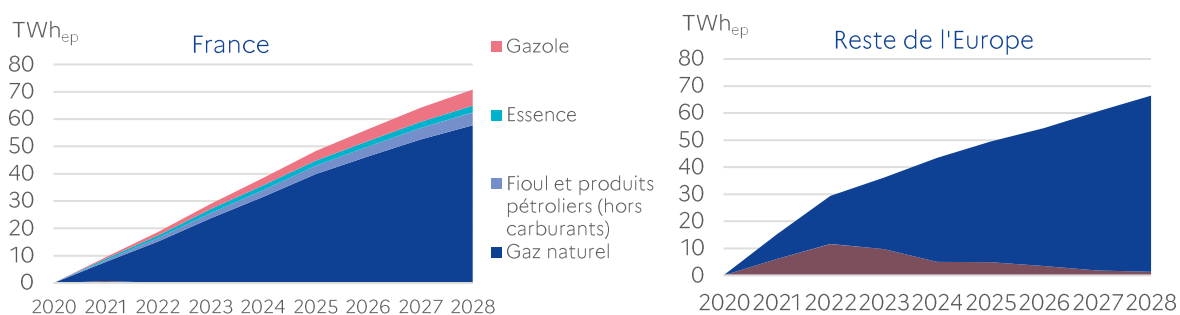


Figure 8 - Consommation évitée de combustibles fossiles en France et Europe, par combustible fossile

²¹ Pour la phase 2020-2028, l'hypothèse a été choisie qu'il n'y a pas d'export des biocarburants français de seconde génération à l'étranger, donc pas de substitutions à l'étranger.

Résultat clé n°5.1: Le développement des EnR&R en France devrait permettre de réduire de 82 Mt les émissions de CO₂-eq en France liées à l'utilisation de combustibles fossiles et de 87 Mt de CO₂-eq chez nos voisins européens, en cumulé entre 2021 et 2028. Pour 2028, c'est 18 Mt de CO₂-eq qui ne seraient pas émises en France ce qui représenterait 5,5 % des émissions totales du pays²², ainsi que 15 Mt de CO₂-eq ailleurs en Europe.

Résultat clé n°5.2 : Par ailleurs, le développement des EnR&R en France induirait, sur cette même période, l'émission de 19 Mt de CO₂-eq²³ en cumulé, dont respectivement 27 %, 18 % et 16 % liées aux biocarburants, à la biomasse solide et au biogaz, et 38 % liées aux EnRs électriques. Pour 2028, ce sont 4 Mt de CO₂-eq qui seraient émises par le développement des EnR&R en France, ce qui représenterait à cet horizon 1,3% des émissions annuelles de la France²².

En cumulé entre 2021 et 2028, l'atteinte des objectifs de la PPE sur le développement des EnR&R en France permettrait d'éviter 151 Mt de CO₂-eq :

- **82,4 Mt de CO₂-eq** liées aux combustibles fossiles seraient évitées sur le territoire français.
- **87,2 Mt de CO₂-eq** liées aux combustibles fossiles seraient évitées dans les autres pays d'Europe grâce aux exportations d'électricité renouvelables et de biocarburants.

Sur cette période, environ 18,8 Mt de CO₂-eq seraient émises par le développement des EnR&R, soit moins de 0,7% des émissions totales du pays, estimées à 2 749 Mt de CO₂-eq dans la SNBC.

Pour l'année 2028, le développement des EnR&R en France permettrait d'éviter 29 Mt de CO₂-eq :

- **17,5 Mt de CO₂-eq** liées aux combustibles fossiles seraient évitées sur le territoire français. Cela représente l'équivalent de 6 % des émissions de gaz à effet de serre provoquées par la combustion de combustibles fossiles en France dans le secteur de l'énergie en 2018, que le SDES estime à 312 millions de tCO_{2eq} (et 4,5% des émissions totales du pays).
- **15,3 Mt de CO₂-eq** liées aux combustibles fossiles seraient évitées dans les autres pays d'Europe grâce aux exportations d'électricité renouvelables et de biocarburants.

En 2028, environ 4,3 Mt de CO₂-eq seraient émises par le développement des EnR&R, ce qui représenterait 1,3 % des émissions totales annuelles du pays, estimées à 320 Mt de CO₂-eq dans la SNBC.

L'analyse de sensibilité montre que le charbon peut être davantage substitué que le gaz en fonction des évolutions des coûts des combustibles et du carbone. Puisque le charbon a un contenu CO₂ plus important que celui du gaz, le développement des renouvelables en France a un impact plus important sur la baisse des émissions lorsque la production d'électricité à base de charbon est compétitive par rapport à la production à partir de gaz (la baisse des émissions augmente de 21 % en 2028 dans l'analyse de sensibilité par rapport au scénario de référence).

²² La SNBC de mars 2020 propose un budget carbone de 320 Mt de CO₂-eq pour 2028 (secteur UTCATF inclus), ainsi que 2 749 Mt de CO₂-eq en cumulé sur la période 2021-2028.

²³ Hors incidence sur la séquestration de carbone dans les écosystèmes.

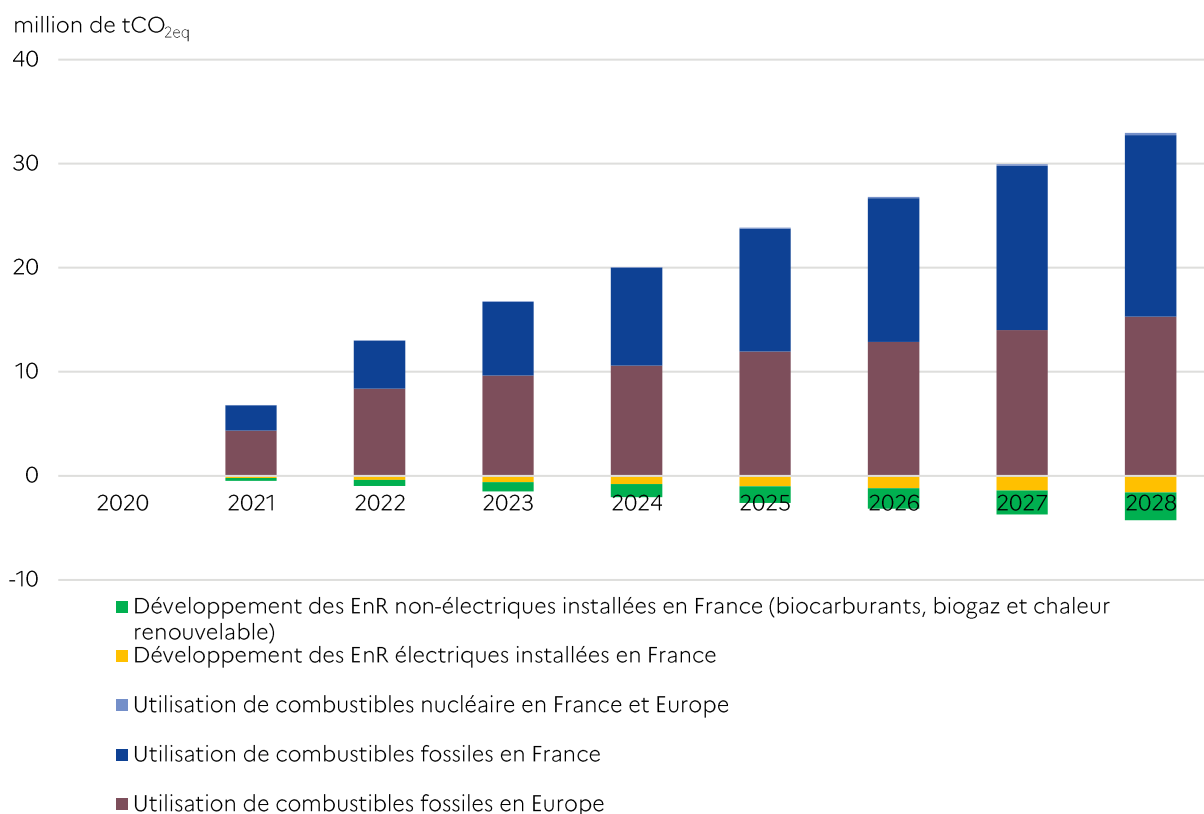


Figure 9 - Emissions de GES évitées par la substitution de combustibles fossiles et émissions de GES générées par le développement des énergies renouvelables en France entre 2021 et 2028. Les valeurs positives correspondent aux émissions évitées et les valeurs négatives aux émissions générées. Les incidences sur la séquestration de carbone dans les écosystèmes n'ont pas pu être quantifiées. Nous n'avons pas réalisé d'analyse de sensibilité sur la prise en compte des changements d'affectation des sols. En effet, ce sont des biocarburants avancés qui se développent entre 2021 et 2028 et nous faisons l'hypothèse de l'absence de concurrence avec cultures alimentaires au regard de la réglementation européenne.

Résultat clé n°6 : Le développement des EnR&R en France devrait faire économiser 6,4 milliards d'EUR₂₀₁₉ sur la facture énergétique française liées aux importations de combustibles fossiles en cumulé entre 2021 et 2028. Pour 2028, les économies d'importations nettes françaises s'élèveraient à 1,3 milliards d'EUR₂₀₁₉²⁴, ce qui représente environ 3 % de la facture énergétique fossile française en 2019²⁵.

Au total, sur l'ensemble de la période 2021-2028, en France, le développement des EnR&R permettrait une réduction de la facture d'importation d'énergies fossiles de 6,4 milliards d'EUR₂₀₁₉ en France. Le développement de la chaleur renouvelable contribue à hauteur de 37 % à cette économie, suivie par l'électricité renouvelable (30 %), les biocarburants (19 %) et le biométhane injecté dans le réseau de gaz (14 %).

En 2028, avec l'atteinte des objectifs de la PPE, en France, 1,3 milliard d'EUR₂₀₁₉ d'importations de combustibles fossiles seraient évités. Cette économie représente 3 % de la facture énergétique française de 2019 en achat de combustibles fossiles (sur les économies liées au gaz naturel seulement, ce sont environ 13 % d'achat de gaz qui pourraient être économisés). Environ 80 % des économies d'importations de combustibles fossiles sont en fait des économies d'importation de gaz naturel.

Ces économies sur la balance commerciale peuvent donc venir réduire en partie le coût des politiques de soutien au développement des EnR&R, au même titre que les autres impacts économiques induits par le développement des EnR (redistribution des taxes, activité économique induite par les emplois créés...).

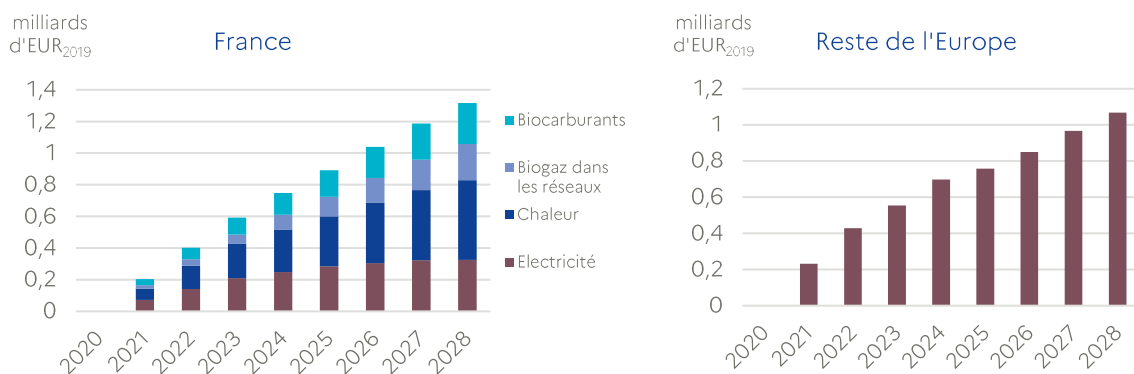
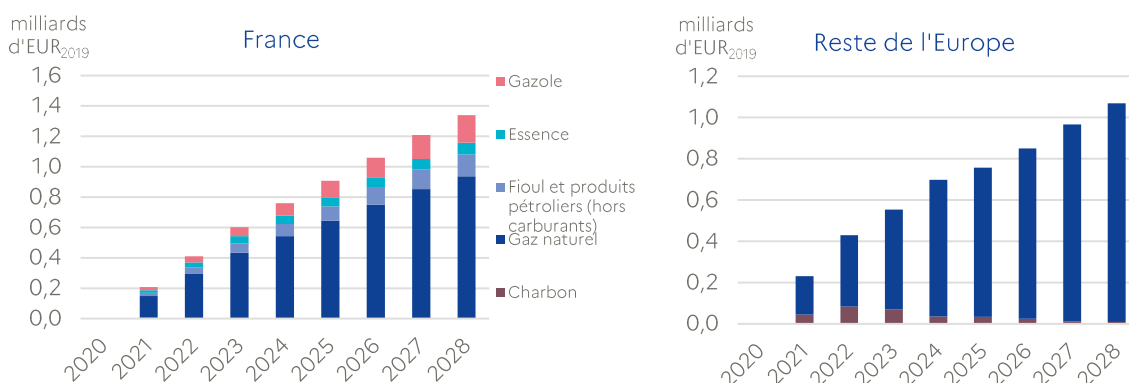


Figure 10 - Economie de combustibles fossiles réalisée en France (économie d'importation) et dans le reste de l'Europe, par vecteur énergétique renouvelable

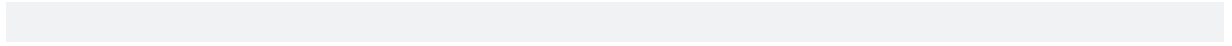


²⁴ Hypothèses de prix des combustibles basées sur le scénario « Sustainable Development » du WEO 2020 de l'AIE

²⁵ En effet, le SDES estime à 45 milliards d'EUR₂₀₁₉ la facture énergétique de la France en 2019 liée à l'achat de combustibles fossiles (dont 35 milliards pour le pétrole brut et les produits pétroliers raffinés, 9 milliards pour le gaz naturel, et 1 milliard pour le charbon).

Figure 11 - Economie de combustibles fossiles réalisée en France (économie d'importation) et dans le reste de l'Europe, combustible fossile

Les économies réalisées sur les achats de matières premières fossiles restent du même ordre de grandeur lorsqu'on réalise l'analyse de sensibilité sur les coûts des combustibles²⁶. En effet, l'augmentation des coûts des combustibles est contrebalancée par une substitution davantage portée par le charbon, qui est moins cher que le gaz.



²⁶ L'évolution des prix des combustibles dans l'analyse de sensibilité provient du scénario « Stated Policies » du WEO 2020 de l'AIE

Résultat clé n°7 : Entre 2021 et 2028, le développement des EnR électriques en France (essentiellement éoliennes et photovoltaïques) devrait se substituer pour environ 69 % à de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles (dont 72 % ailleurs en Europe grâce aux exportations), 25 % à de la production d'électricité nucléaire française, 3 % à de la production d'électricité nucléaire européenne et 3 % liés à de l'écrêtement supplémentaire et à une utilisation de moyen de stockage en France et en Europe²⁷. Cela représente une économie de production cumulée de 104 TWh d'électricité d'origine nucléaire, soit 274 TWh_{ep} de combustible fissile sur la période. Cela permettrait d'économiser l'équivalent de 550 millions d'euros d'importation d'uranium²⁸ et d'éviter la production de 1 144 tonnes de déchets radioactifs en France sur la période²⁹. Pour 2028, l'économie générée atteindrait 150 millions d'euros, et éviterait la production de 317 tonnes de déchets radioactifs en France.

Contrairement à la période historique, sur la période 2021-2028, 25 % de la production d'EnR électriques supplémentaires par rapport à 2020 remplaceraient de la production nucléaire française. En particulier, en 2028, les 34 TWh de solaire et 50 TWh d'éolien remplaceraient des imports nets principalement (43 TWh), suivi par de la production nucléaire française (29 TWh) et gaz (12 TWh). Dans l'étude, cette substitution au sens strict n'a pas d'impact sur les émissions directes de GES du système électrique.

En 2028, avec une disponibilité du parc nucléaire français de 70 % au lieu de 76,5 % (disponibilité moyenne historique utilisée dans l'étude), les EnR électriques ne se substitueraient alors plus qu'à 23 % à la production nucléaire française, et à 77 % à de la production carbonée. Les résultats présentés dans l'étude pourraient donc légèrement surestimer la substitution de la production nucléaire française.

Une analyse de sensibilité montre que même en considérant un verdissement du système électrique européen, d'ici à 2028, les EnR électriques françaises remplaceraient toujours principalement (52 % au lieu de 70 %) la production de centrales thermiques fossiles à l'étranger en Europe donc principalement de l'électricité carbonée.

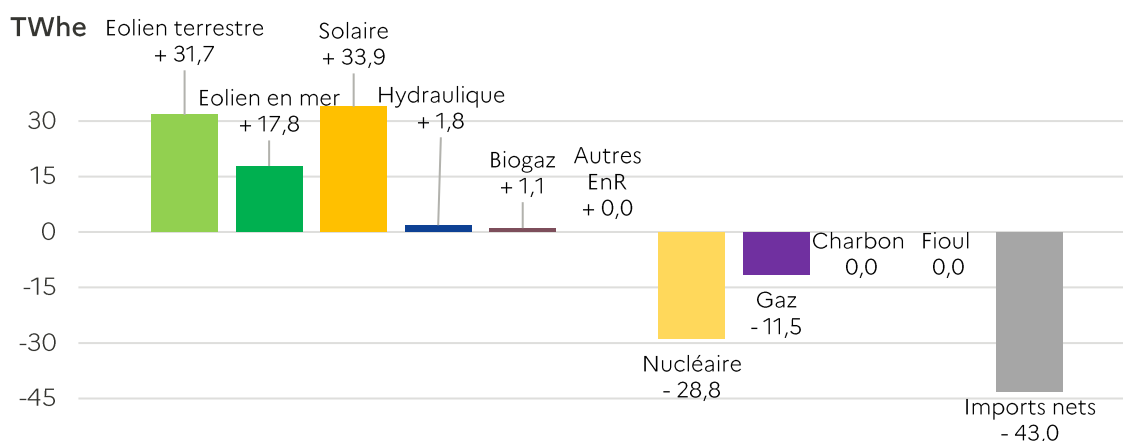


Figure 12 – Substitution par filière de production électrique en France pour l'année 2028

La réduction de la production d'électricité d'origine nucléaire s'accompagnerait d'une réduction de la production de déchets radioactifs. En cumulé sur la période 2021-2028, l'effacement de la production

²⁷ Les parts mentionnées sont pour l'année 2025, considérée comme représentative de la période.

²⁸ Le coût du combustible nucléaire est estimé à 5,3 EUR/MWh selon la SFEN, valeur rejoignant les estimations de la Cour des Comptes.

²⁹ 1 MWh d'électricité d'origine nucléaire génère 11 g de déchets toutes catégories confondues. Les déchets à vie courte représentent plus de 90 % de la quantité totale, mais ne contiennent que 0,1 % de la radioactivité des déchets. Les déchets à vie longue (moyenne et haute activité vie longue) représentent moins de 10 % de la quantité totale, mais contiennent la quasi-totalité de la radioactivité (99,9 %). Source : EDF, ORANO, CEA, *Les déchets radioactifs de la production d'électricité d'origine nucléaire, contribution au débat public sur les déchets radioactifs, 2019*.

nucléaire (104 TWh) permettrait d'éviter 1144 tonnes de déchets radioactifs toutes catégories confondues. Pour 2028, cela permettrait d'éviter 312 tonnes de déchets radioactifs.

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



ETUDE DES BÉNÉFICES LIÉS AU DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DE RÉCUPÉRATION EN FRANCE

L'étude vise à estimer les impacts économiques et sur les émissions de gaz à effet de serre liés à la diminution des importations de combustibles fossiles et fissiles entre 2000 et 2028, grâce au développement des EnR&R.

Deux périodes sont considérées dans l'étude. Une période historique qui retrace l'évolution des EnR&R dans le mix énergétique français ces vingt dernières années et une période future basée sur l'atteinte des objectifs de développements des EnR&R à l'horizon 2028. Pour chacune de ces deux périodes, les bénéfices sont estimés relativement à un scénario contrefactuel où le développement des EnR&R est figé.

L'étude couvre toutes les EnR&R : chaleur et électricité renouvelable, biogaz, biocarburants et estime les impacts pour la France et chez nos voisins européens.

Ces vingt dernières années, le développement des EnR&R en France a permis d'éviter la consommation de 1 468 TWh_{ep} de combustibles fossiles en France et en Europe, soit l'équivalent de 426 MtCO₂-eq. Sur cette même période, la facture énergétique française a ainsi été réduite de 40 milliards d'euros.

L'atteinte des objectifs 2028 de la PPE devrait permettre d'éviter la consommation de 685 TWh_{ep} de combustibles fossiles sur la période 2021-2028, soit l'équivalent 151 Mt de CO₂-eq de 6,4 milliards d'euros

