

SYNTHÈSE
ÉDITION 2024



FAITS & CHIFFRES

Évolution des coûts des énergies renouvelables et de récupération en France entre 2012 et 2022

Ce document est édité par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Coordination technique : Nicolas PERAUDEAU (ADEME)

Rédacteurs : Nicolas PERAUDEAU (ADEME) - Eva AUBRIOT, Coralie DABIENS, Arthur LE STRAT, Abel PRUCHON, Jean-Gabriel ROBERT (EY) - Issam TALEB (EY Parthénon) - Agnès AUDIER (BCG)

Remerciements : Brice ARNAUD (ADEME), Claire BARAIS (ADEME), Eugénie BARDIN (Enercoop), Sébastien BAUME (ADEME), Julie BEELMEON (DGEC), Julien BURDLOFF (CRE), Norbert BOMMENSATT (ADEME), Erwan BOUMARD (Énergie Partagée), Luc BUDIN (ATEE), Arthur CABIE (DGEC), Astrid CARDONA MAESTRO (ADEME), Pauline CHAMPEAU (ADEME), Xavier DE LACAZE (DGEC), François DEROUCHE (AFPAC), Christophe DOUSSET (ADEME), Camille DUPHIL (CRE), Alice FAUTRAD (ADEME), Paul FRANC (ADEME), Karine FILMON (ADEME), Clarisse FISCHER (CIBE), Christophe GAWSEWITCH (ADEME), Lilian GENEY (ADEME), Tiphany GENIN (DGEC), Claude GIRARD (France hydroélectricité), Bénédicte GENTHON (ADEME), Alban GHEERAERT (DGEC), Olivier GODIN (Enerplan), David GREAU (Enerplan), Vincent GUENARD (ADEME), Caroline GUION (AFPAC), Nathalie HEBRARD (ADEME), Laurianne HENRY (ADEME), Tristan HUBE (ADEME), Martin JOUET (Enercoop), Arnaud KAUTZMANN (AFPAC), Bouzid KHEBCHACHE (ADEME), Valérie LAPLAGNE (Uniclimate), Philippe LAPLAIGE (ADEME), Céline LARUELLE (ADEME), Maude LE MEUR-DIEBOLT (CRE), Jean-Marc LEVY (France hydroélectricité), Stefan LOUILLAT (ADEME), Richard LOYEN (Enerplan), Christophe LUTTMANN (AFPAC), David MARCHAL (ADEME), Sibylle MARTIN-LAUZER (CRE), Céline MEHL (ADEME), Elsa MERCKEL (CRE), Simon MOLINA (DGEC), Matthieu MONNIER (France Renouvelables), Leslie MOULIN (ADEME), Jérôme MOUSSET (ADEME), Ludivine OLIVE (EDF), Jean-Michel PARROUFFE (ADEME), Nicolas PERAUDEAU (ADEME), Théo PIPERIS (ADEME), Nicolas RANDRIA (GMPV), Olivier REBENAQUE (SER), Julie REY-CAMET (ATEE), Axel RICHARD (SER), Rachel RUAMPS (France Renouvelables), Hugo SANCHO (DGEC), Virginie SCHMIDLE-BLOCH (AFPAC), Jérémy SIMON (SER), Olivier THEOBALD (ADEME), Simon THOUIN (ADEME), Julien THUAL (ADEME), Héloïse TIXIER (CRE), Nicolas TONNET (ADEME), Pierre TREMOLIERES (AFPAC), Frédéric TUILE (Observ'ER), Manon VITEL (ADEME), Gabriel VOLCOVSCHI (FEDENE)

Citations :

Nicolas PERAUDEAU (ADEME),
Eva AUBRIOT, Coralie DABIENS, Arthur LE STRAT, Abel PRUCHON, Jean-Gabriel ROBERT (EY),
Issam TALEB (EY Parthénon),
Agnès AUDIER (BCG). 2024,
Évolution des coûts des énergies renouvelables et de récupération en France entre 2012 et 2022. 12 pages

Crédits photo : @Freepik

Création graphique : Caracter

Brochure réf. 012686-1

ISBN : 979-10-297-2497-8 - janvier 2025

Dépôt légal : ©ADEME Éditions, janvier 2025 - Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr>

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.

Une 4^e édition de l'étude s'inscrivant dans un contexte économique et géopolitique particulier

Dans un effort conjoint avec l'Union Européenne, la France s'engage activement dans la transition énergétique en développant les énergies renouvelables et de récupération (ENR&R). Les progrès technologiques réalisés par ces filières, la maturation de leurs modèles commerciaux et l'évolution des conditions de marché soulignent l'importance d'un suivi des dynamiques de compétitivité pour chacune de ces filières.

La connaissance des coûts de production contribue à renforcer la confiance dans les modalités de développement de ces filières et permet d'éclairer dans leurs choix décideurs politiques, industriels, porteurs de projets, investisseurs ou consommateurs finaux. Il s'agit d'un prérequis pour la mise en place de politiques publiques adaptées et l'orientation de flux de capitaux vers ces filières.

L'ADEME s'est saisie de ce sujet en publiant régulièrement depuis 2016 des données sur les coûts de production des énergies renouvelables et de récupération. Ces travaux s'inscrivent dans une démarche plus large de l'ADEME visant à améliorer la connaissance autour des filières des énergies renouvelables et de récupération, et plus largement des enjeux inhérents à la transition énergétique, écologique et climatique.

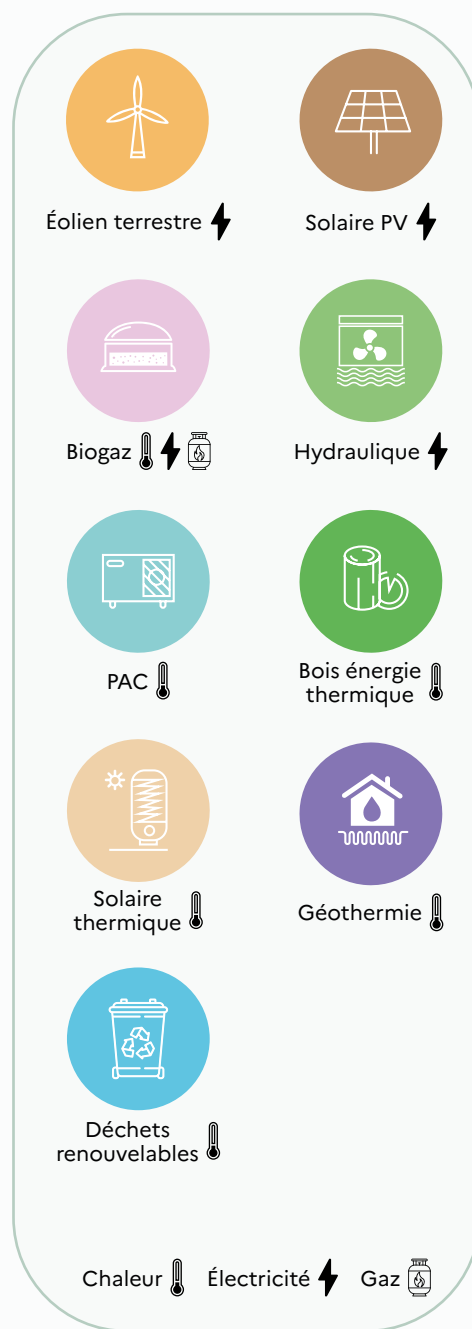
Cette 4^e édition de l'étude se concentre sur les dynamiques de coûts observées sur la période 2012-2022 et pour les actifs mis en service en France Métropolitaine en 2021 et 2022 pour neuf technologies ¹. Cette période a été marquée par une instabilité et des défis inédits, affectant particulièrement les marchés de l'énergie en France comme au niveau international.

L'analyse des coûts de ces filières se base, comme dans le cadre des éditions précédentes, sur la mesure du *Levelized Cost of Energy* (LCOE), une méthode qui permet de comparer les coûts de production moyens sur la durée de vie des actifs, quelle que soit l'énergie produite (chaleur, électricité, gaz).

Les résultats présentés dans ce rapport sont d'autant plus importants que plusieurs événements géopolitiques et économiques ont perturbé les conditions de marché propres aux filières de production d'énergie renouvelable et de récupération en France en 2021 et 2022. Après une tendance soutenue de baisse des coûts observée pour la majorité des filières entre 2016 et 2020, la période analysée a notamment été marquée par une envolée des prix de l'énergie (électricité et gaz naturel) en Europe – initiée dès fin 2021 et affermie par les conséquences de l'invasion de l'Ukraine par la Russie – ainsi que par des perturbations des chaînes d'approvisionnement et des hausses des tarifs de transport au sortir de la période de restrictions sanitaires liées à la pandémie de Covid-19.

Enfin, il est important de rappeler que la période d'analyse de cette étude s'arrête en 2022. Depuis 2023, on constate que les conditions des marchés ont évolué avec entre autres un apaisement des tensions sur les prix de certains combustibles (gaz, granulés bois, etc.), une inflation marquée du coût des matières premières en 2023, et une augmentation des taux d'intérêt (due aux mesures de lutte contre l'inflation) affectant les conditions de financement des projets. Dans le rapport complet, des encarts dédiés dans les chapitres sur les filières ENR&R donnent quelques éléments de contexte sur la période post-2022, sans toutefois avoir pu prolonger l'analyse de l'évolution du LCOE par manque de données consolidées récentes.

¹. La réalisation de l'étude s'est échelonnée de février à décembre 2024, ainsi la majorité des données les plus récentes sur les filières ENR&R allaient jusqu'en 2022 au lancement de l'étude.



| Une analyse des coûts par le LCOE (levelized cost of Energy)

Le coût actualisé de l'énergie (LCOE) est un indicateur clé pour calculer le prix de l'énergie produite par une technologie donnée. Il permet de comparer les coûts des différentes sources d'énergie pour la production d'électricité, de gaz ou de chaleur, en tenant compte des investissements, des coûts d'exploitation et de maintenance. Cette approche normalisée facilite la comparaison entre les technologies et le suivi de l'évolution de leurs coûts dans le temps.

Le LCOE rationalise tous les coûts de production d'un équipement sur sa durée de vie avec l'énergie produite sur cette même période. Exprimé en €/MWh, il est calculé en divisant la somme des coûts actualisés de production par la quantité d'énergie produite, également actualisée. Il inclut les dépenses d'investissement (CAPEX), les coûts d'exploitation et de maintenance (OPEX), et les coûts de démantèlement éventuels. L'actualisation des coûts permet d'évaluer la valeur des flux monétaires tout au long de la durée de vie de l'actif en utilisant un taux d'actualisation annuel. Les LCOE sont calculés sur la base des coûts des filières et ne prennent pas en compte les aides publiques ou les CEE (exception faite des filières ayant bénéficiées des boucliers tarifaires sur le gaz et l'électricité à partir de 2021 et 2022).

Le LCOE offre ainsi une estimation standardisée pour comparer les différentes technologies d'énergies renou-

velables et de récupération, basée sur des hypothèses spécifiques à chaque filière. Il représente un coût « aux bornes de la centrale » et permet de suivre l'évolution de la compétitivité d'une technologie dans le temps. Par nature, cette méthode ne prend pas en compte les coûts annexes permettant à l'énergie d'être utilisée notamment via des réseaux d'électricité, de chaleur ou de gaz (coût de réseau, coût des centrales d'appoint, coût d'équilibrage...). Il est dans ce cas nécessaire de passer par des approches mesurant les coûts complets du système énergétique considéré.

Dans cette étude, les LCOE des EnR sont comparés avec les coûts de filières alternatives de référence (par exemple, pour une centrale EnR mise en service en 2022 et injectant de l'électricité sur le réseau, la comparaison se fait avec le coût d'une centrale électrique au gaz mise en service en 2022).

Cette synthèse présente l'évolution des LCOE moyens des filières EnR et de leur filière de référence. Le rapport complet comporte une analyse de sensibilité des LCOE 2022 aux différents paramètres de la formule (CAPEX, OPEX, facteur de charge, taux d'actualisation, etc.), permettant d'apprécier les fourchettes de coûts des filières EnR.



Constats – un environnement inflationniste qui renforce la compétitivité des ENR&R



Un développement des ENRR à accélérer

Un rythme de développement qui doit s'accélérer pour atteindre le niveau des ambitions de la PPE malgré le rattrapage post-Covid des dernières années



Un changement de dynamique des prix de l'énergie

Une tendance haussière des combustibles (gaz, bois, etc.) en rupture avec la baisse continue observée au cours de la dernière décennie



Une augmentation des coûts des ENRR encore partielle

Une hausse des prix de l'énergie qui impacte les coûts variables et se reflète de manière hétérogène sur les LCOE 2021 et 2022 des différentes filières



Une compétitivité des ENR électriques

Des filières ENR électrique particulièrement compétitives par rapport aux filières de référence dans un contexte d'augmentation des prix de l'énergie (gaz, électricité)



Un levier de confiance et de maîtrise des prix de l'énergie

Une connaissance et transparence du coût des ENRR qui renforce la confiance dans ces filières et permet une certaine maîtrise des prix de l'énergie (CPPA etc.)



Un besoin d'indépendance énergétique accru

Une poursuite de la décentralisation de la production énergétique qui répond au besoin de souveraineté énergétique mais implique des évolutions des systèmes

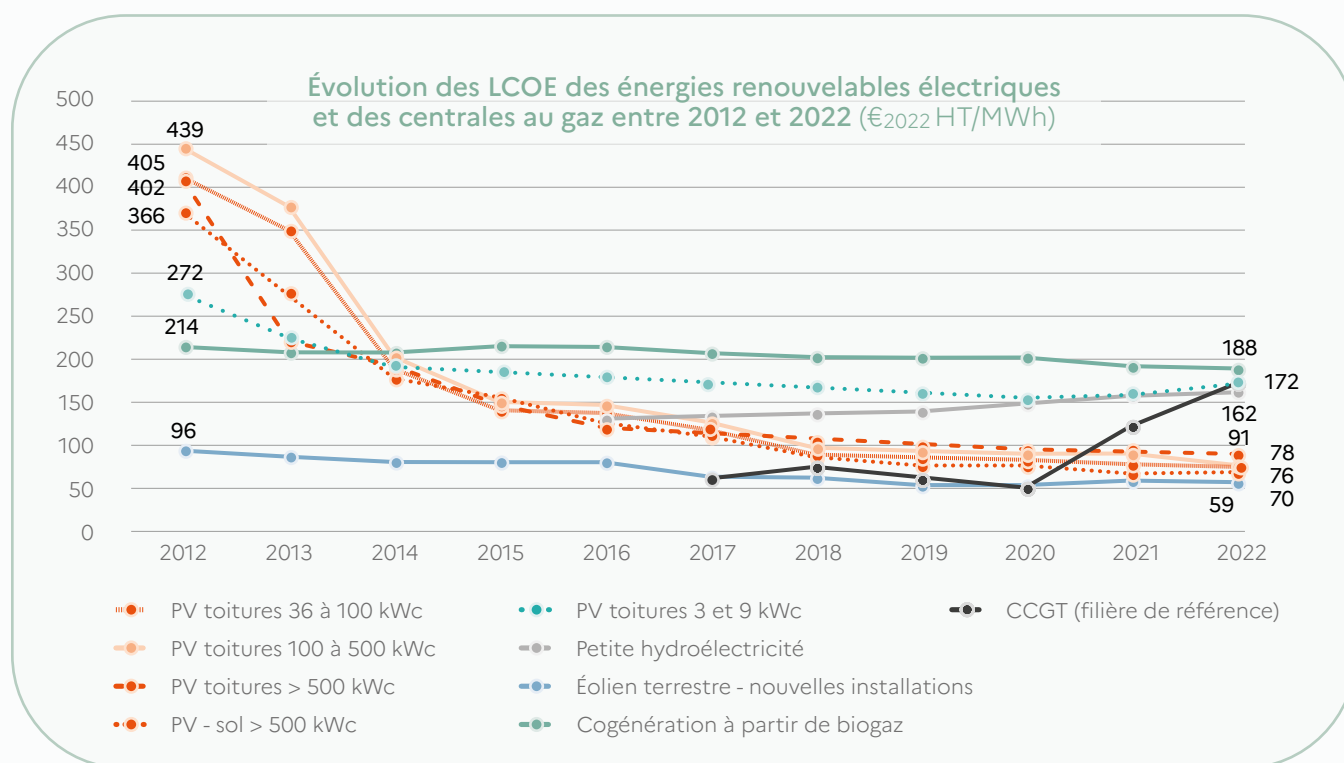
Synthèse des résultats

Des filières de production d'électricité renouvelable présentant une compétitivité accrue en 2022 par rapport aux centrales à gaz (CCGT)

En 2022, la filière de l'éolien terrestre est la solution la plus compétitive de production d'électricité à 59€HT/MWh, suivie des filières photovoltaïques sur moyennes/grandes toitures et au sol qui oscillent entre 70 et 91€₂₀₂₂HT/MWh.

Jusqu'en 2020, les LCOE des installations de production d'électricité renouvelable ont généralement diminué. Par exemple, les coûts des installations photovoltaïques (PV) de plus de 36 kWc ont été divisés par cinq en huit ans, principalement grâce à la baisse du prix des mo-

dules PV. Le LCOE du PV résidentiel (3-9kWc) a diminué de 40% sur cette période, tout comme celui de l'éolien terrestre, qui a bénéficié de progrès technologiques sur les turbines et de réductions de coûts grâce aux économies d'échelle. Toutefois, après des années de baisse entre 2012 et 2020, la tendance a été à la hausse en 2021 et 2022 (+9% en moyenne sur la petite hydroélectricité et +6% sur l'éolien entre 2020 et 2022), dans un contexte de hausse des coûts de l'énergie, des matières premières et du transport (à l'exception de certains segments photovoltaïques et du biogaz).



Concernant la filière alternative de référence, les coûts des centrales à cycle combiné gaz (CCGT) ont triplé depuis 2020 en raison de la hausse critique des prix du gaz, entraînant une perte de compétitivité au profit des ENRR.

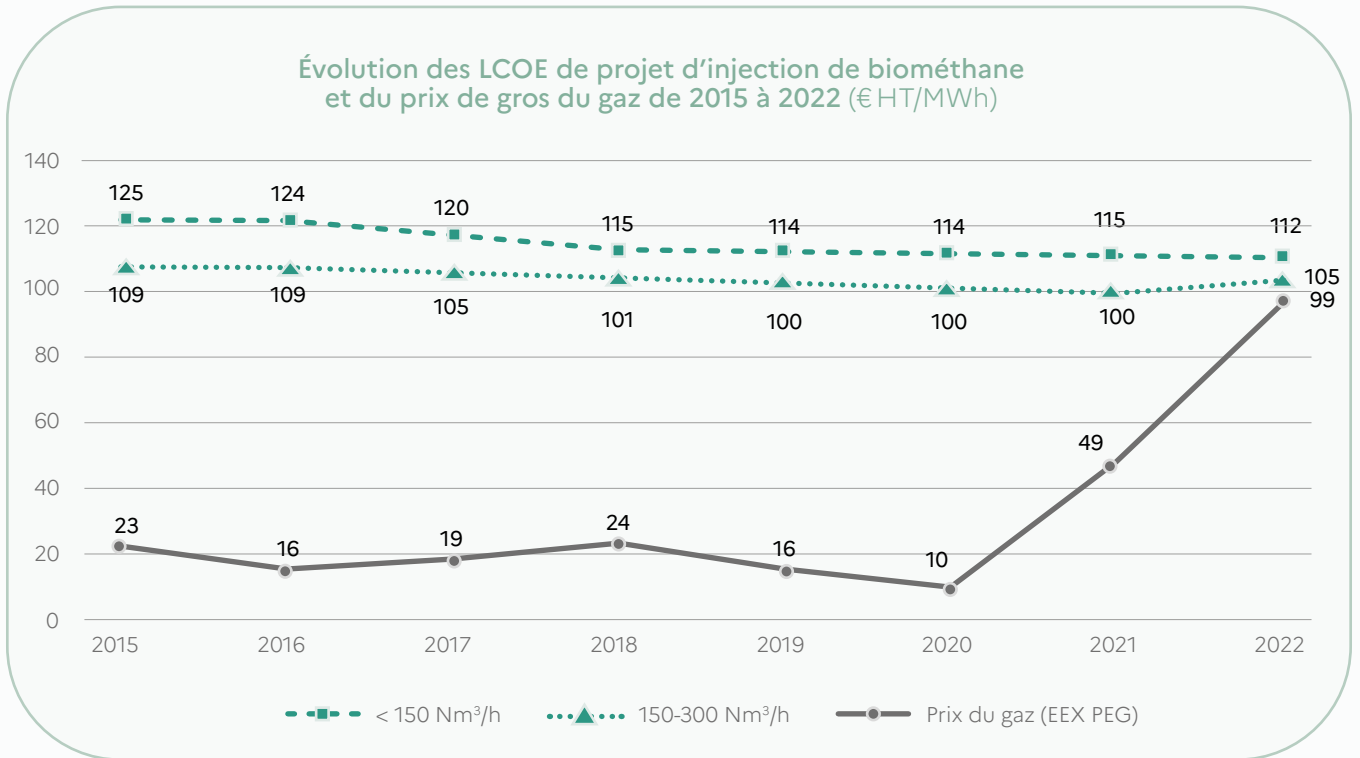
Depuis 2022, les filières de production d'électricité renouvelable ont connu une hausse de leur LCOE comme

le mentionne les derniers rapports d'analyse des appels d'offre de la CRE ².

Face à ces évolutions rapides, les dispositifs de soutien aux EnR restent utiles (complément de rémunération) en permettant de réduire le risque perçu par les investisseurs tout en limitant les coûts pour l'État.

2. CRE (Septembre 2024), État des lieux et premiers enseignements tirés à fin 2023 des résultats des appels d'offres « PPE2 » éoliens terrestres et photovoltaïques

Un coût de production du biométhane qui continue de baisser depuis plusieurs années mais qui n'est toujours pas compétitif avec le gaz malgré la hausse des prix de 2021 et 2022



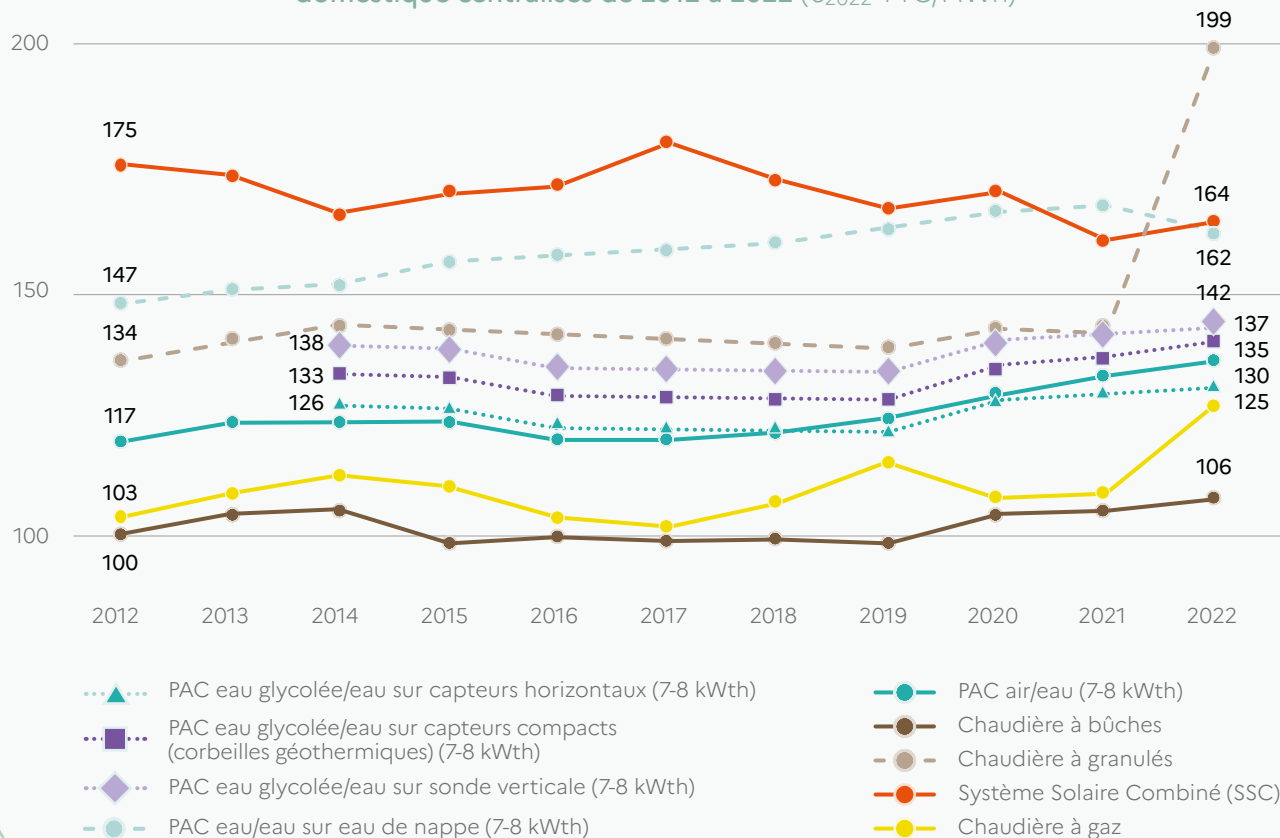
En 2022, le LCOE du biométhane variait entre 105 et 112 €₂₀₂₂ HT/MWh selon la taille de l'installation. Pour toutes les tailles d'installation, le LCOE a légèrement diminué par rapport à 2015, grâce à une amélioration des conditions de financement et une tendance à la baisse des dépenses d'investissement. En 2022, le prix du bio-

méthane est devenu très proche de celui du gaz naturel en raison de l'explosion des prix du gaz, qui sont depuis redescendus autour de 30 €/MWh. Depuis 2022, les prix de production ont remonté en raison de l'augmentation du prix de l'électricité nécessaire pour faire fonctionner les méthaniseurs.



L'existence d'alternatives renouvelables de chauffage domestique compétitives hors subvention en 2022, notamment pour le chauffage décentralisé, dans un contexte d'augmentation du coût des solutions conventionnelles

Évolution des LCOE des systèmes de chauffage domestique centralisés de 2012 à 2022 (€₂₀₂₂ TTC/MWh)



On distingue les modes de chauffage domestiques centralisés, avec réseau d'eau chaude (qui sont comparés aux chaudières à gaz individuelles), et les modes de chauffage décentralisés (qui sont comparés aux radiateurs électriques à effet joule). Pour rappel, ces coûts ne prennent pas en compte les aides publiques ou les CEE.

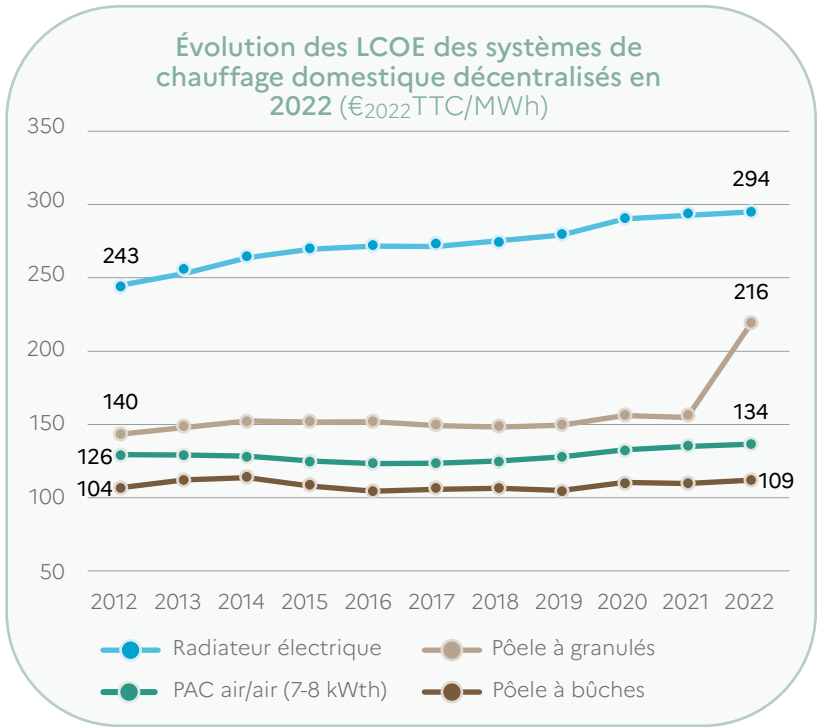
En 2022, en dehors des filières bois à granulés, les coûts des systèmes de chauffage centralisés et décentralisés sont dans la continuité des 10 dernières années, la chaudière et le poêle à bûches demeurant les solutions les plus économiques, resp. à 106 et 109€ TTC/MWh.

Entre 2012 et 2022, seul le LCOE du système solaire combiné a baissé (-6%), grâce à la réduction des coûts

d'investissement et à l'allongement de la durée de vie des installations. Les LCOE des systèmes bois-énergie et des pompes à chaleur géothermiques ont légèrement augmenté, en raison de la hausse des coûts des équipements et des combustibles bois. Toutefois, les chaudières à granulés ont enregistré une forte hausse (+44% entre 2021 et 2022), liée à l'augmentation conjoncturelle de 77% du prix des granulés, qui a fortement baissé depuis. En parallèle, le coût des chaudières à gaz individuelles a progressé de 20%, mais le bouclier tarifaire a limité une hausse potentielle de plus de 100%. Malgré ces évolutions, la chaudière à bûches reste l'unique solution plus compétitive que le gaz, tandis que les PAC aérothermiques et, dans une moindre mesure, géothermiques le deviennent de plus en plus.

Les LCOE des chauffages décentralisés ont globalement augmenté sur la période étudiée, mais restent tous notablement inférieurs à la solution de référence (radiateurs électriques). La hausse la plus marquée concerne les poêles à granulés, avec une augmentation de 42% entre 2021 et 2022, pour des raisons similaires à celles des chaudières à granulés. Malgré cela, le poêle à bûches reste la solution la plus économique, avec un LCOE de 109€TTC/MWh en 2022.

Sur la dernière décennie, les prix des équipements électriques, comme les radiateurs, ont grimpé d'environ 20%, principalement en raison de l'augmentation du coût de l'électricité. Grâce au bouclier tarifaire, cette hausse a été limitée à 4% entre février 2022 et janvier 2023. Sans cette mesure, elle aurait approché 50% en 2022-2023.

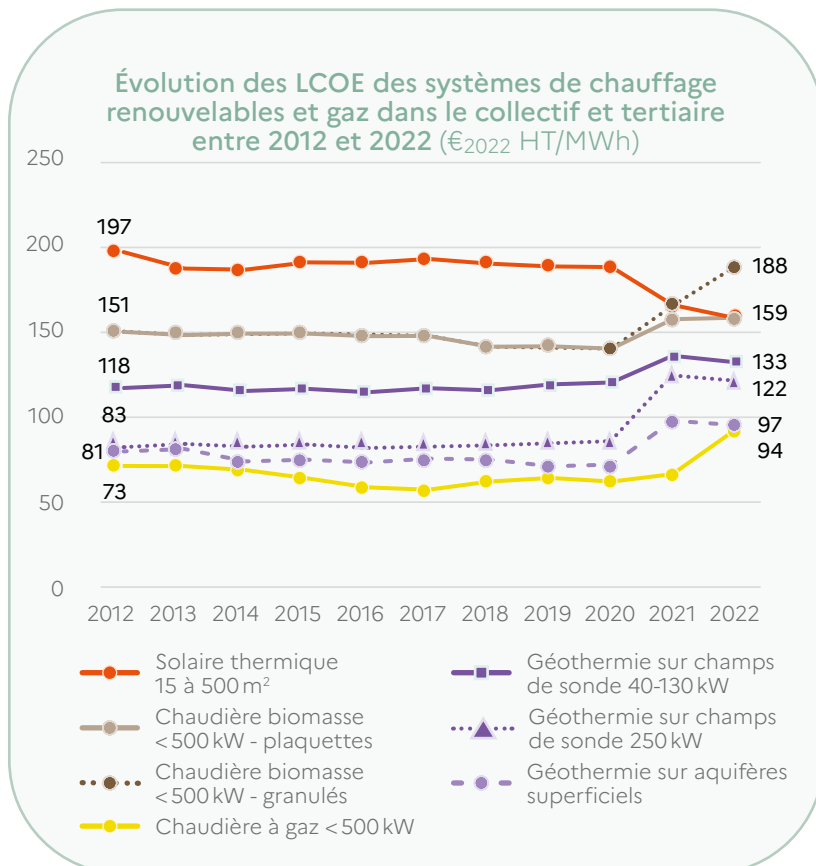


Dans le segment tertiaire et collectif, la géothermie sur nappe (hors subvention) frôle la compétitivité avec les chaudières à gaz malgré une inflation des CAPEX

En 2022, la géothermie est la filière disposant des LCOE les plus bas (entre 97 et 133€₂₀₂₂ HT/MWh).

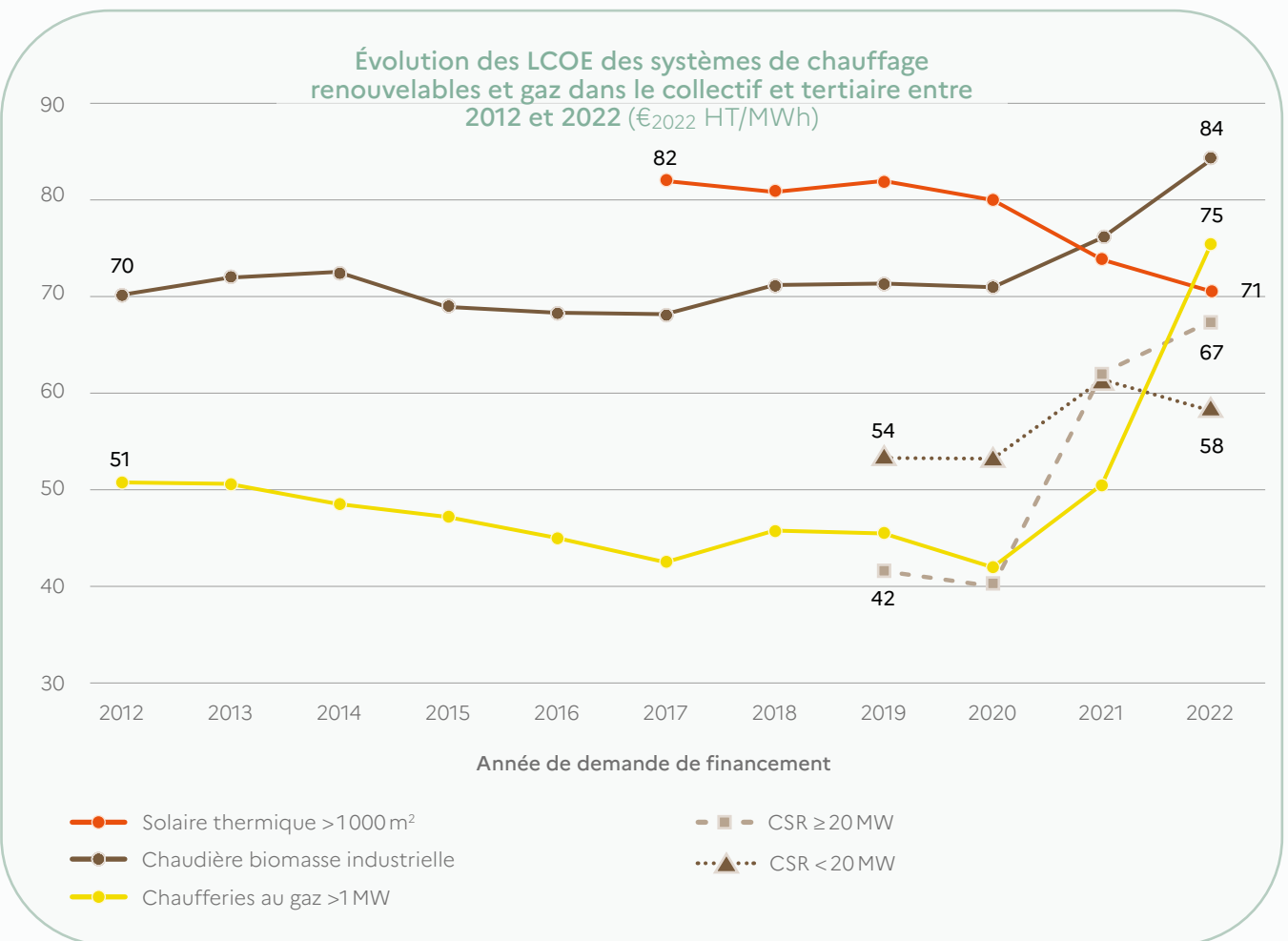
Entre 2012 et 2022, les LCOE des installations de chaleur collective ont suivi des trajectoires variées. Les installations géothermiques ont connu une hausse modérée jusqu'en 2019, puis une accélération entre 2020 et 2022, avec des augmentations de 23% pour les champs de sondes et 31% pour les aquifères, en raison de la hausse des coûts d'équipements et de forages. Elles restent toutefois les plus compétitives des solutions EnR. Les chaudières biomasse ont également vu leur LCOE augmenter de 12% sur les deux dernières années, sous l'effet des hausses des coûts d'investissement et des combustibles. En revanche, le LCOE du solaire thermique a baissé de 24% sur la décennie, grâce à des coûts d'installation réduits et des financements améliorés, la filière étant peu sensible aux fluctuations des prix de l'énergie.

Avec l'augmentation des prix du gaz, les prix des chaudières gaz applicables aux segments collectifs, tertiaires et industriels ont augmenté d'environ 50%, avec une hausse plus marquée pour les chaudières de grandes puissances.





Une compétitivité des chaudières à gaz industrielles qui tend à diminuer en 2022 avec l'augmentation du prix du gaz, mais des alternatives renouvelables confrontées à une augmentation des coûts d'exploitation



Les installations de valorisation des combustibles solides de récupération (CSR) sont encore trop récentes pour offrir une tendance fiable sur l'évolution de leur LCOE. Toutefois, elles apparaissent plus compétitives que leurs équivalents en énergies renouvelables, comme les chaufferies biomasse et le solaire thermique sur toiture. Les décisions d'investissement dans les chaufferies CSR restent toutefois dépendantes du prix du gaz, solution alternative avec lesquelles elles sont en compétition.

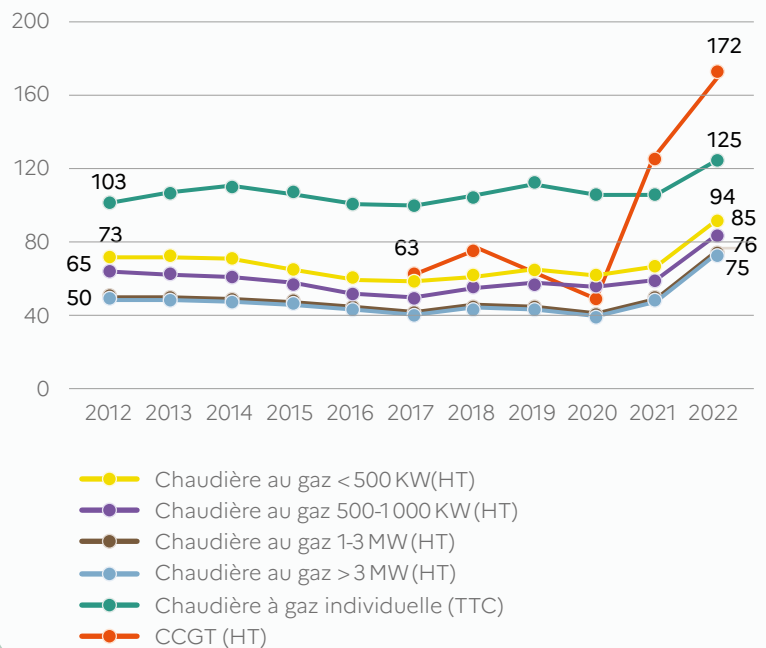
La baisse du LCOE pour le solaire thermique entre 2017 et 2022 (-14%) s'explique principalement par l'amélioration des conditions de financement et la réduction des coûts d'installation. En revanche, le LCOE des chaudières biomasse a augmenté de 20% sur la même période, passant de 70€ HT/MWh à 84€ HT/MWh, principalement en raison de la hausse du prix du bois.

Des technologies de références marquées par une hausse des coûts entre 2020 et 2022, malgré l'application du bouclier tarifaire dont plusieurs d'entre elles ont pu bénéficier

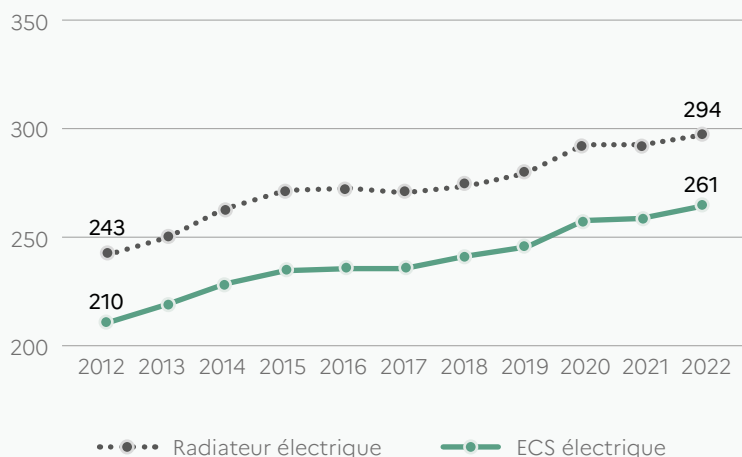
Au cours de la dernière décennie, les prix des filières de référence fonctionnant à l'électricité, telles que les radiateurs et les chauffe-eaux électriques, ont augmenté d'environ 20%, principalement en raison de la hausse des prix de l'électricité. Le bouclier tarifaire a permis de limiter cette hausse à 4 % entre le 1^{er} février 2022 et le 31 janvier 2023. Sans cette mesure, la hausse des prix aurait atteint près de 50% en 2022 et 2023.

Le coût des chaudières à gaz individuelles a également augmenté d'environ 20% entre 2021 et 2022, mais cette hausse a été contenue par le bouclier tarifaire, qui a gelé les prix dès fin 2021. Sans cette intervention, les tarifs réglementés du gaz auraient augmenté de plus de 100% au 1^{er} décembre 2022 par rapport à octobre 2021. Les prix des technologies applicables aux segments collectifs, tertiaires et industriels ont augmenté d'environ 50%, avec une hausse plus marquée pour les chaudières de grandes puissances.

**Évolution des LCOE des filières de référence
fonctionnant au gaz de 2012 à 2022 (€₂₀₂₂/MWh)**



**Évolution des LCOE des filières de référence
fonctionnant à l'électricité de 2012 à 2022
(€₂₀₂₂/MWh)**





Coûts des énergies renouvelables et de récupération en France

Édition 2024

Dans le but de limiter le recours aux énergies fossiles et ainsi de freiner le réchauffement climatique, les filières de production d'énergies renouvelables sont en plein essor grâce aux politiques publiques mises en place en France et dans le monde.

Les baisses passées et futures des coûts de production des technologies renouvelables alimentent de nombreux débats.

Afin d'apporter des éléments factuels à ces débats, l'ADEME publie régulièrement des données sur les coûts des énergies renouvelables.

Cette publication présente l'évolution des coûts de production des technologies renouvelables pour la période 2012 à 2022 en France.

012686-1

