



PANORAMA DE LA CHALEUR RENOUVELABLE ET DE RÉCUPÉRATION

ÉDITION 2022



Avec la participation de



SOMMAIRE

Préambule	03
1. Bois-énergie	04
1.1. Chaufferies bois (secteurs collectif, industriel et tertiaire)	05
1.2. Chauffage au bois domestique	09
1.3. Caractéristiques et atouts	13
→ Focus sur la biomasse forestière en France	14
1.4. Exemple de réalisation	15
2. Pompes à chaleur aérothermiques	16
2.1. Chiffres clés	17
2.2. Parc installé et nouvelles installations	17
2.3. Caractéristiques et atouts	18
2.4. Exemple de réalisation	19
3. Géothermies	20
3.1. Géothermie de surface	21
3.2. Géothermie profonde	22
3.3. Caractéristiques et atouts	23
3.4. Exemples de réalisations	25
→ Focus sur le gisement géothermique en France	26
4. Chaleur solaire	27
4.1. Chiffres clés	28
4.2. Parc installé et nouvelles installations	28
4.3. Caractéristiques et atouts	32
4.4. Exemple de réalisation	33
→ Focus sur le gisement solaire en France	33
5. Gaz renouvelables	34
5.1. Chiffres clés	35
5.2. Parc installé	35
5.3. Caractéristiques et atouts	36
5.4. Exemple de réalisation	39
6. Valorisation énergétique des déchets	40
6.1. Chiffres clés	41
6.2. Parc installé	41
6.3. Caractéristiques et atouts	42
→ Focus sur le gisement de combustibles solides de récupération	44
6.4. Exemple de réalisation	45
→ Focus sur la chaleur fatale	46
7. Les réseaux de chaleur et de froid : vecteurs énergétiques	47
7.1. Caractéristiques et enjeux des réseaux de chaleur	48
7.2. Caractéristiques et enjeux des réseaux de froid	49
7.3. Caractéristiques et enjeux des boucles d'eau tempérée	50
7.4. Exemple de réalisation	50
8. Cadre de développement	51
8.1. Objectifs LTECV et PPE	51
8.2. Cadre économique	52

PRÉAMBULE

La décarbonation de la chaleur est indispensable pour répondre aux enjeux de souveraineté énergétique, de neutralité carbone et de maîtrise de la facture énergétique des Français. D'une part, l'énergie thermique représente près de la moitié de nos consommations énergétiques et d'autre part, elle est massivement produite par des énergies fossiles importées, fortement émettrices de gaz à effet de serre et soumises à des variations de prix importantes.

La France a tout pour réussir la décarbonation de la chaleur : elle dispose de nombreuses ressources locales, renouvelables et de récupération, et d'un savoir-faire industriel au service de la transition énergétique.

Les principales fédérations des filières concernées (l'AFPG, le CIBE, la FEDENE, le SER, UNICLIMA) ont réalisé, avec la participation de l'ADEME, cette nouvelle édition du Panorama de la chaleur renouvelable et de récupération.

Ce panorama dresse **un état des lieux, pour la France métropolitaine¹, des différentes filières de production de chaleur renouvelable et de récupération** (le bois-énergie collectif et domestique, les pompes à chaleur aérothermiques, la géothermie de surface et la géothermie profonde, la chaleur solaire, les gaz renouvelables et la valorisation énergétique des déchets), avec un focus sur la chaleur fatale. Un chapitre est consacré aux **réseaux de chaleur et de froid** qui permettent de distribuer ces énergies renouvelables et de récupération dans les territoires.

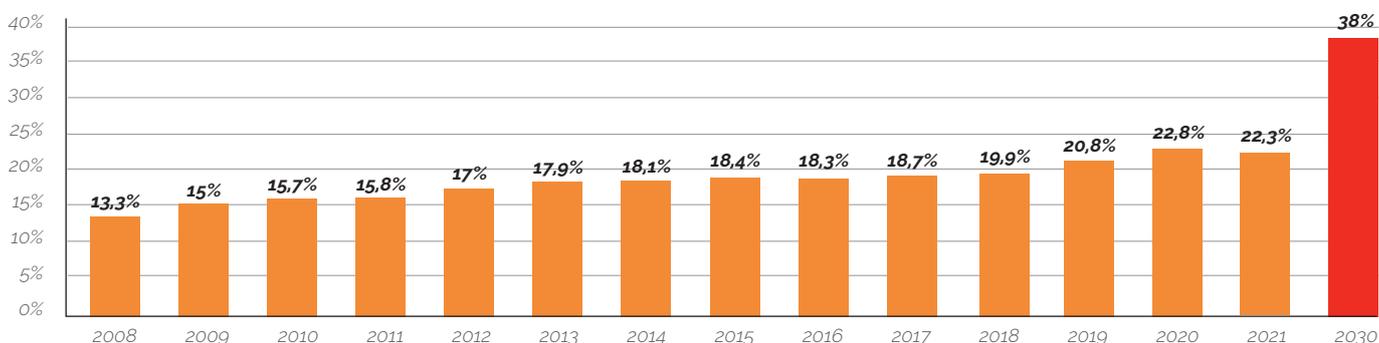
Les données présentées sont les plus récentes en ce qui concerne le parc existant (production de chaleur, répartition régionale) et les nouvelles installations/nouveaux équipements. Elles sont complétées par une présentation des différentes technologies, des atouts de chaque filière, des exemples de réalisations et des focus sur les gisements.

La production de chaleur renouvelable en France métropolitaine continue de progresser en valeur absolue : elle est passée de 152,6 TWh en 2020 à 157,8 TWh en 2021. Toutefois, la forte reprise de la consommation globale de chaleur en 2021 (708 TWh contre 669 TWh en 2020, année des premiers confinements du fait de la pandémie de COVID) a largement contribué à annuler l'impact des 5,2 TWh supplémentaires produits par les sources renouvelables sur leur part relative dans la consommation nationale qui passe de 22,8 % en 2020 à 22,3 % en 2021.

Pour atteindre l'objectif fixé par la loi³ de 38 % d'énergies renouvelables (EnR) dans la consommation finale de chaleur en 2030, il faut que la dynamique de croissance de la production de chaleur renouvelable s'amplifie et s'accélère, en complément d'efforts significatifs en matière d'efficacité et de sobriété énergétiques.

Évolution de la part des énergies renouvelables dans la consommation finale de chaleur en France Métropolitaine

Source : SER d'après SDES

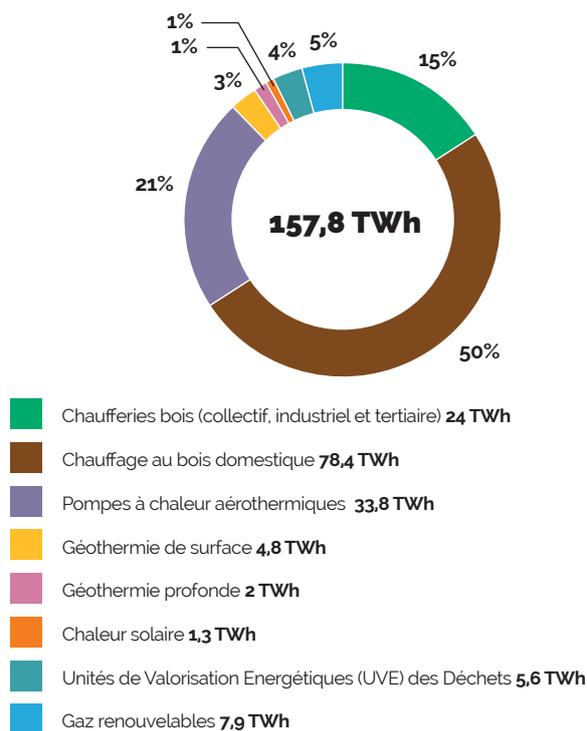


Des décisions politiques fortes doivent être prises pour accélérer et amplifier la production et la distribution de chaleur renouvelable et de récupération. Pour faire du développement de la chaleur renouvelable une composante centrale de la neutralité carbone en 2050, il convient de dimensionner des moyens financiers et humains en cohérence avec ces objectifs de développement.

La future loi quinquennale de l'énergie qui doit être adoptée en 2023, puis l'actualisation de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) et de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) sont autant d'opportunités à saisir.

Part de chaque filière dans la production de chaleur renouvelable en France métropolitaine en 2021²

Source : SER



1. Les données concernant spécifiquement les territoires ultramarins sont présentées pour les filières de la chaleur solaire et de la valorisation énergétique des déchets.
 2. En ce qui concerne la production de chaleur issue de la valorisation énergétique des déchets 50 % est réglementairement considérée comme renouvelable, les 50 % restants sont qualifiés de chaleur de récupération (selon l'article L211-2 du code de l'énergie).
 3. Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) voir page 51.



© FIBOIS

1. Bois-énergie

Le bois-énergie peut être utilisé pour diverses valorisations énergétiques : chaleur (par combustion), chaleur et électricité (par cogénération). La production de chaleur est la principale voie de valorisation du bois-énergie.

1.1. Chaufferies bois (secteurs collectif, industriel et tertiaire)	05
1.1.1. Chiffres clés	05
1.1.2. Parc installé	05
1.1.3. Production de chaleur renouvelable	07
1.1.4. Typologie des installations	08
1.2. Chauffage au bois domestique	09
1.2.1. Chiffres clés	10
1.2.2. Parc installé	11
1.2.3. Production de chaleur renouvelable	12
1.2.4. Typologie des appareils	13
1.3. Caractéristiques et atouts	13
1.3.1. Typologie des combustibles pour le bois-énergie	13
1.3.2. Atouts	15
→ Focus sur la biomasse forestière en France	14
1.4. Exemple de réalisation	15

1.1. Chaufferies bois (secteurs collectif, industriel et tertiaire)

Dans les secteurs collectif, industriel et tertiaire, le bois-énergie est utilisé pour produire de la chaleur dans des chaufferies (dédiées ou connectées à un réseau de chaleur) et parfois de la chaleur et de l'électricité dans des installations de cogénération.

1.1.1. Chiffres clés⁴



Fin 2020, avec 7 145 chaufferies bois, la production de chaleur renouvelable issue du bois-énergie dans les secteurs collectif, industriel et tertiaire est de 24 TWh en France métropolitaine. Cette production couvre 3,3 % de la consommation finale de chaleur en 2021.

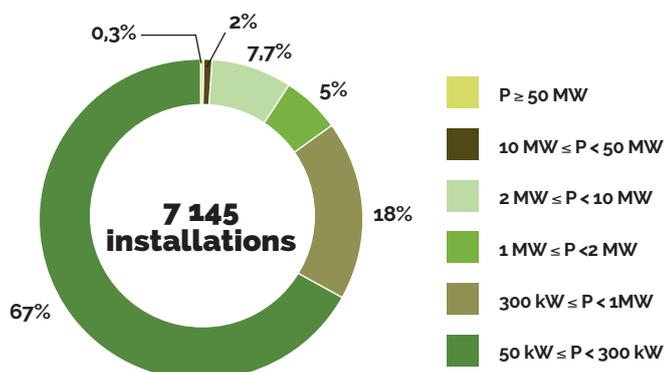
A noter que le Fonds Chaleur (voir page 52) en 2021 a soutenu des chaufferies bois pour une production additionnelle de chaleur renouvelable de 1,3 TWh.

1.1.2. Parc installé

1.1.2.1. Caractéristiques du parc

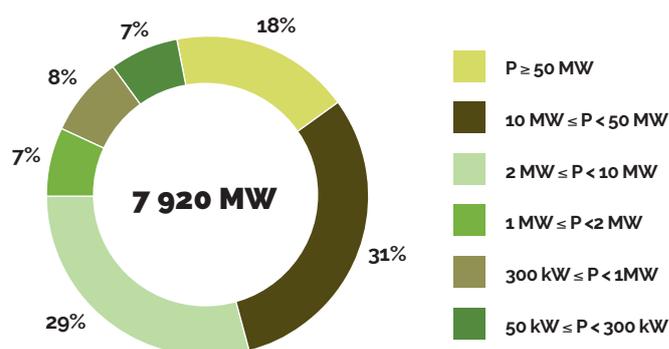
Répartition du nombre de chaufferies bois par gamme de puissance

Source: CIBE au 31 décembre 2020



Répartition en puissance thermique cumulée des chaufferies bois ≥ à 50 kW

Source: CIBE au 31 décembre 2020



Les chaufferies de puissances thermiques supérieures ou égales à 10 MW représentent 2 % des installations mais 49 % de la puissance totale installée. Les chaufferies de puissances comprises entre 50 kW et 1 MW représentent 85 % des installations, mais seulement 15 % de la puissance totale installée.

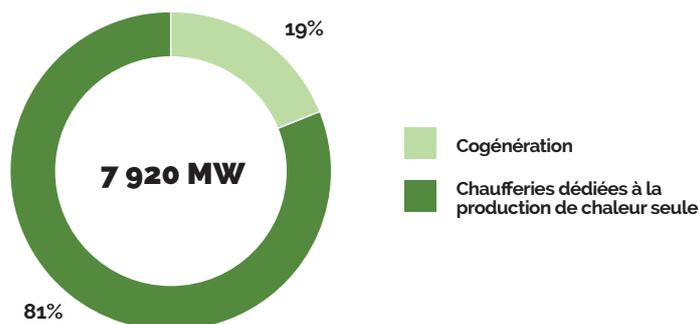
4. Les données sur les chaufferies bois en France métropolitaine ont été consolidées par le CIBE sur la base de données réelles et à l'aide de différentes hypothèses de calcul. Le CIBE fait appel au réseau des animateurs bois-énergie présents dans différentes structures d'animation (collectivités forestières, interprofessions de la filière forêt bois, associations environnementales, etc). Cet état des lieux est actualisé tous les deux ans. Les données les plus récentes pour la France métropolitaine concernent le 31 décembre 2020.

La chaleur renouvelable produite par les chaufferies bois de type collectif, industriel et tertiaire de puissance supérieure à 50 kW est calculée avec un rendement moyen de 80 % pour les chaufferies dédiées à la production de chaleur seule et un rendement moyen de 50 % pour les installations de cogénération. Ces deux rendements sont appliqués au contenu énergétique du combustible.

La puissance thermique installée des chaufferies bois en cogénération est déterminée en calculant le potentiel thermique (soit 75 %) à partir de la puissance installée totale de ces installations.

Répartition en puissance thermique cumulée des chaufferies bois \geq 50 kW par valorisation énergétique

Source: CIBE au 31 décembre 2020

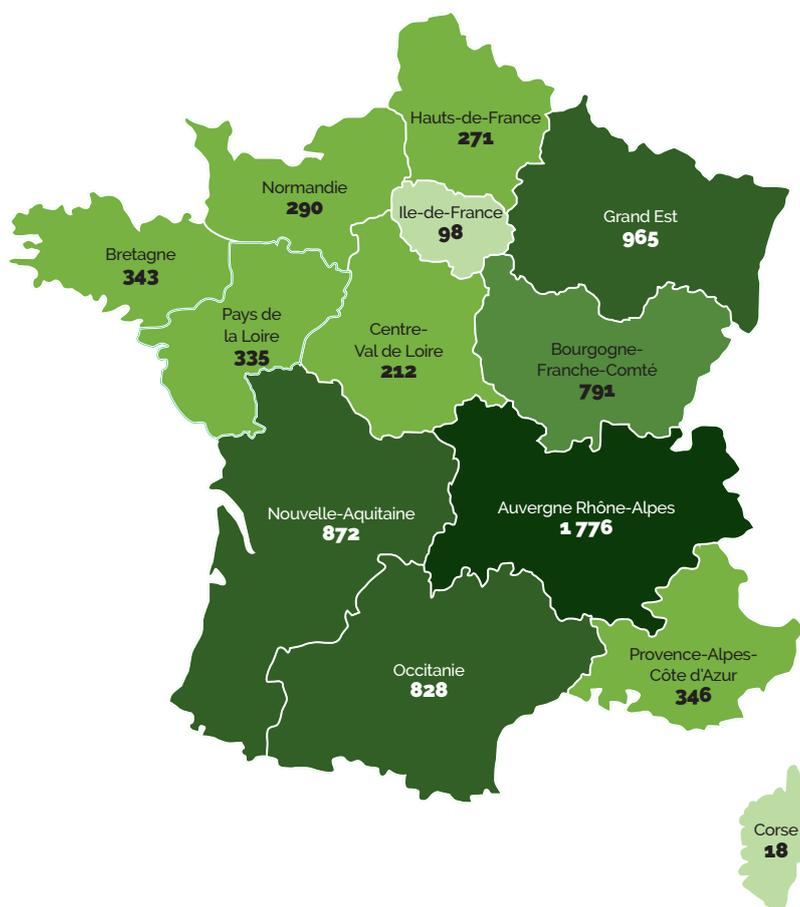


Les installations de cogénération (produisant à la fois de l'électricité et de la chaleur) représentent moins de 1 % des chaufferies bois et 19 % de la puissance thermique cumulée.

1.1.2.2. Répartition régionale du parc

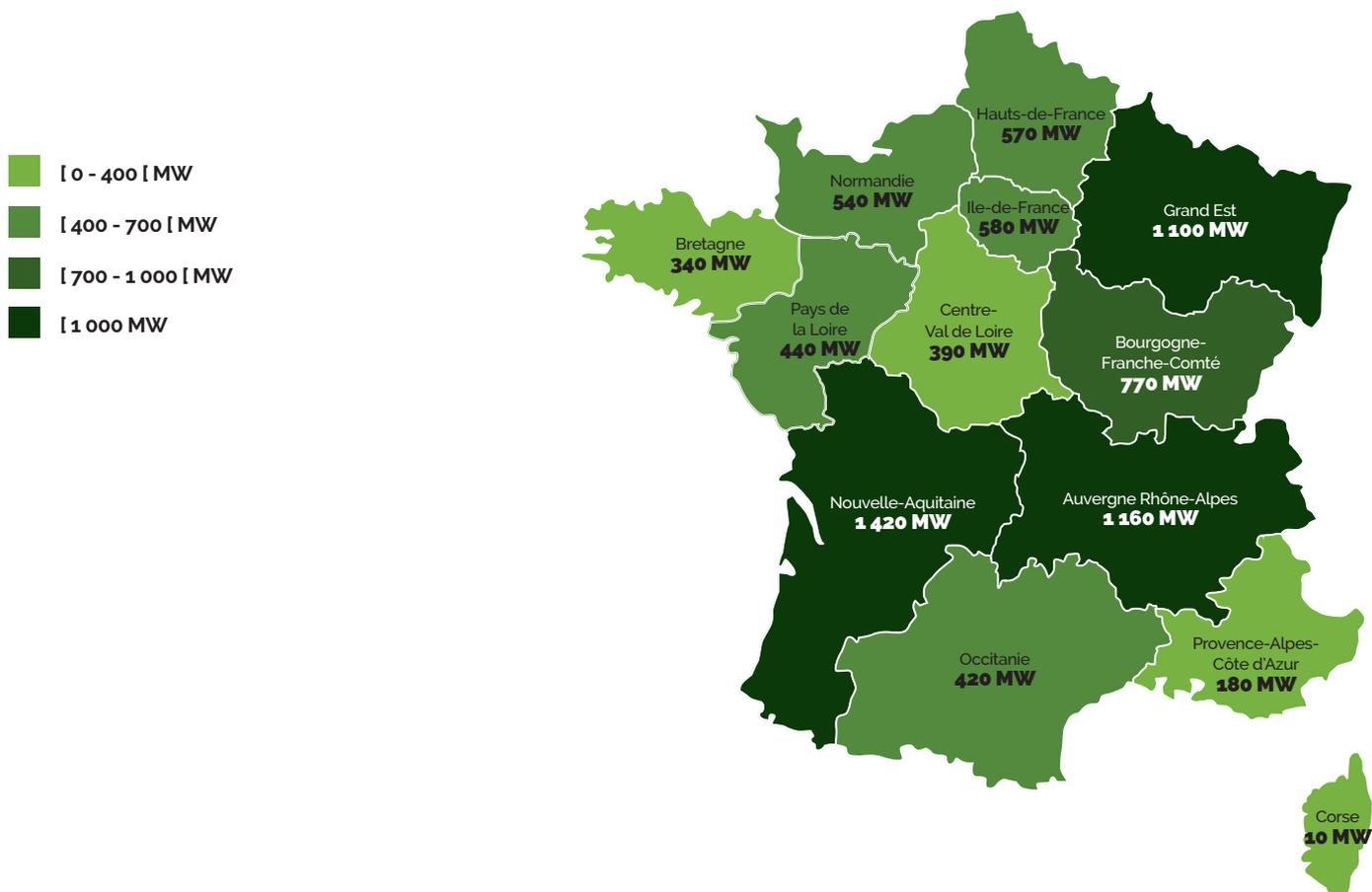
Répartition régionale en nombre d'installations des chaufferies bois \geq 50 kW

Source : CIBE au 31 décembre 2020



Répartition régionale de la puissance thermique installée des chaufferies bois ≥ 50 kW

Source : CIBE au 31 décembre 2020

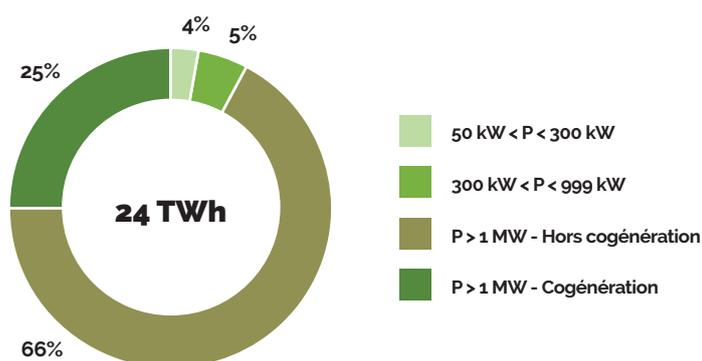


1.1.3. Production de chaleur renouvelable

En 2020, la production de chaleur renouvelable issue du bois-énergie des secteurs collectif, industriel et tertiaire est de 24 TWh en France métropolitaine.

Répartition de la production de chaleur renouvelable selon la puissance des chaufferies bois (en TWh)

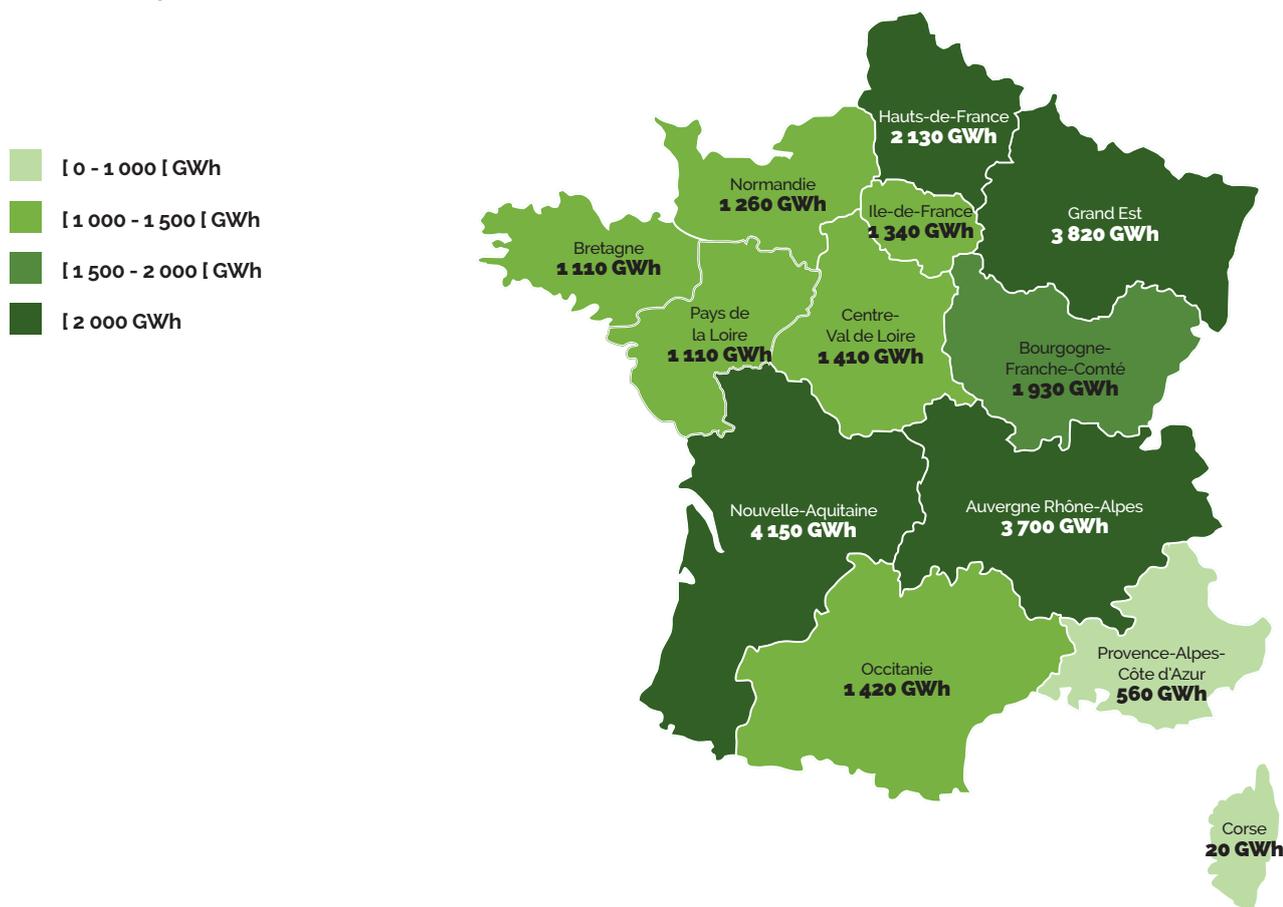
Source : CIBE au 31 décembre 2020



Les chaufferies bois d'une puissance supérieure à 1 MW fournissent 91 % de la chaleur renouvelable du parc installé en France métropolitaine fin 2020.

Répartition régionale de la production de chaleur renouvelable issue des chaufferies bois ≥ 50 kW (en GWh)

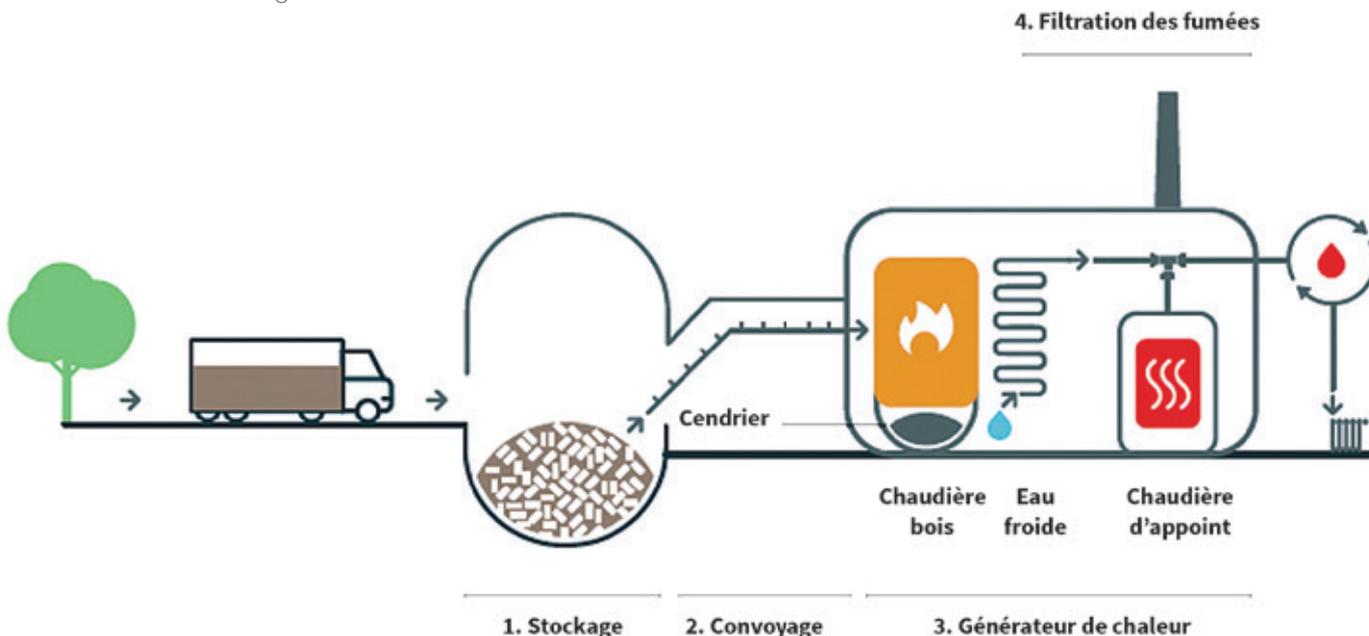
Source : CIBE au 31 décembre 2020



1.1.4. Typologie des installations

Principe de fonctionnement d'une chaufferie bois produisant de la chaleur

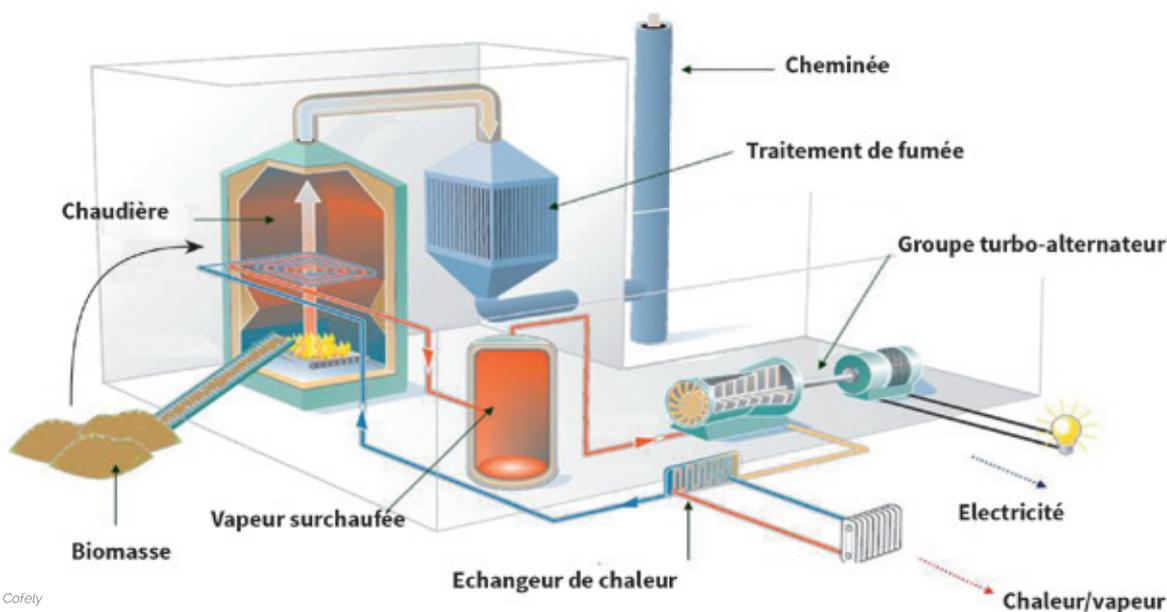
Le biocombustible est acheminé vers la chaufferie au moyen d'un convoyeur. Il est stocké dans un silo tampon destiné à garantir l'alimentation régulière de la chaudière. La biomasse est ensuite acheminée dans le foyer de combustion où elle est brûlée à des températures très élevées (800 à 900 °C). Le brûlage du bois à haute température permet une combustion complète et assure un rendement énergétique important tout en limitant les rejets polluants dans l'air. L'énergie thermique ainsi produite sous forme d'eau chaude ou de vapeur est utilisée pour alimenter un réseau de chaleur, un site industriel, des bâtiments résidentiels, agricoles ou tertiaires.



Source : ADEME - LE BOIS ÉNERGIE. CHAUFFERIES BOIS COLLECTIVES À ALIMENTATION AUTOMATIQUE, 2016.

Principe de fonctionnement d'une installation bois-énergie en cogénération

Il y a cogénération lorsque la combustion de la biomasse produit à la fois de l'énergie électrique et de l'énergie thermique. Dans une installation de cogénération, la chaleur issue de la combustion du bois, utilisée pour chauffer de l'eau dans une chaudière et la transformer en vapeur, permet de produire de l'électricité en faisant tourner des turboalternateurs. De plus, la chaleur d'une partie de la vapeur émise est récupérée par exemple pour alimenter un réseau de chaleur. Les installations biomasse de cogénération sont souvent de plus grande puissance que les installations ne produisant que de la chaleur.



Source : © Engie Sofely

1.2. Chauffage au bois domestique

Le chauffage au bois domestique recouvre les appareils dits indépendants de types inserts ou poêles et les chaudières qui fonctionnent avec des bûches ou des granulés de bois.

1.2.1. Chiffres clés⁵

7,2 millions
appareils
de chauffage
au bois
domestique
fin 2021

78,4 TWh
de production de chaleur
renouvelable en 2021

11 %
de la consommation
finale de chaleur
en 2021

Les 7,2 millions d'appareils de chauffage au bois domestique ont produit 78,4 TWh de chaleur renouvelable en 2021 en France métropolitaine. Cette production de chaleur renouvelable couvre 11 % de la consommation finale de chaleur.

Le remplacement continu des appareils anciens par des appareils performants labellisés Flamme Verte ou équivalents permet un meilleur rendement énergétique.

5. Les données sur le chauffage au bois domestique pour la France métropolitaine ont été consolidées par le SER sur la base de données réelles et d'études :

- « Etudes sur le chauffage domestique au bois : marchés et approvisionnement » réalisées pour le compte de l'ADEME par Solagro, Biomasse Normandie, BVA et Marketing freelance (2013 et 2018)

- « Suivi du marché 2021 des appareils domestiques de chauffage au bois » réalisé par Observ'ER.

Pour le calcul de la production de chaleur renouvelable, les principales hypothèses ont fortement évolué pour cette édition. Elles sont succinctement les suivantes :

- 1 ménage = 1 appareil de chauffage au bois domestique

- Une partie des ventes annuelles d'appareils de chauffage au bois sert à remplacer des appareils du parc existant, avec des hypothèses de durée de vie des appareils selon leur type.

Ainsi, les appareils les plus anciens arrivant en fin de vie sont comptabilisés comme remplacés par des appareils performants.

- Une dynamique tendancielle d'isolation des logements.



Le label
du chauffage
au bois

Le label Flamme Verte a été lancé en 2000 par les fabricants d'appareils domestiques avec le concours de l'Agence de la transition écologique (ADEME).

Depuis sa création, le label Flamme Verte promeut des appareils de chauffage performants. Leur conception répond à une charte de qualité exigeante en termes de

rendement énergétique et d'émissions de polluants, sur laquelle s'engagent les fabricants, signataires de la charte Flamme Verte. D'année en année, les critères de labélisation deviennent de plus en plus exigeants.

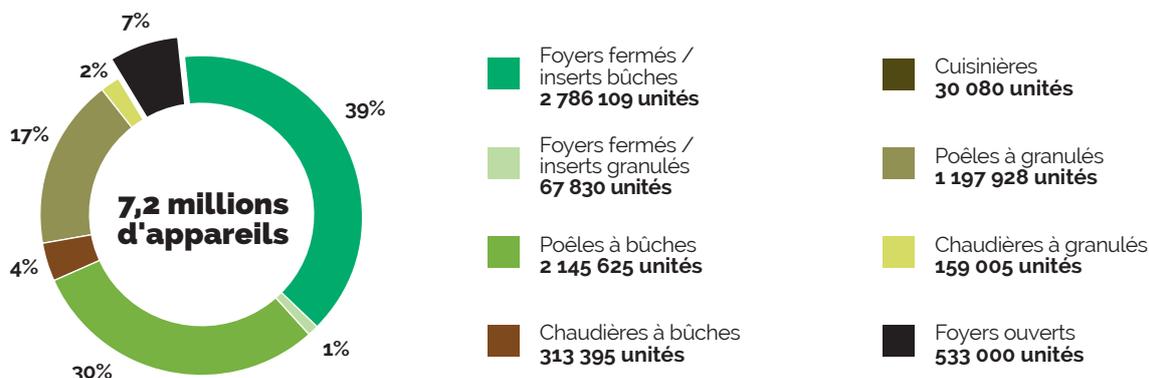
Géré par le Syndicat des énergies renouvelables (SER), le label de qualité Flamme Verte labellise les appareils indépendants de chauffage au bois (foyers fermés / inserts, poêles à bois et à granulés de bois, chaudières et cuisinières) ainsi que, avec l'appui d'UNICLIMA, les chaudières domestiques fonctionnant au bois bûche, à la plaquette forestière et aux granulés de bois.

1.2.2. Parc installé

Les appareils indépendants, foyers fermés, inserts et poêles sont toujours majoritaires en 2021 et représentent 86 % du parc national. Les foyers ouverts ne représentent que 7 % du parc, du fait de leur remplacement progressif par de véritables appareils de chauffage au bois pour la plupart labellisés Flamme Verte.

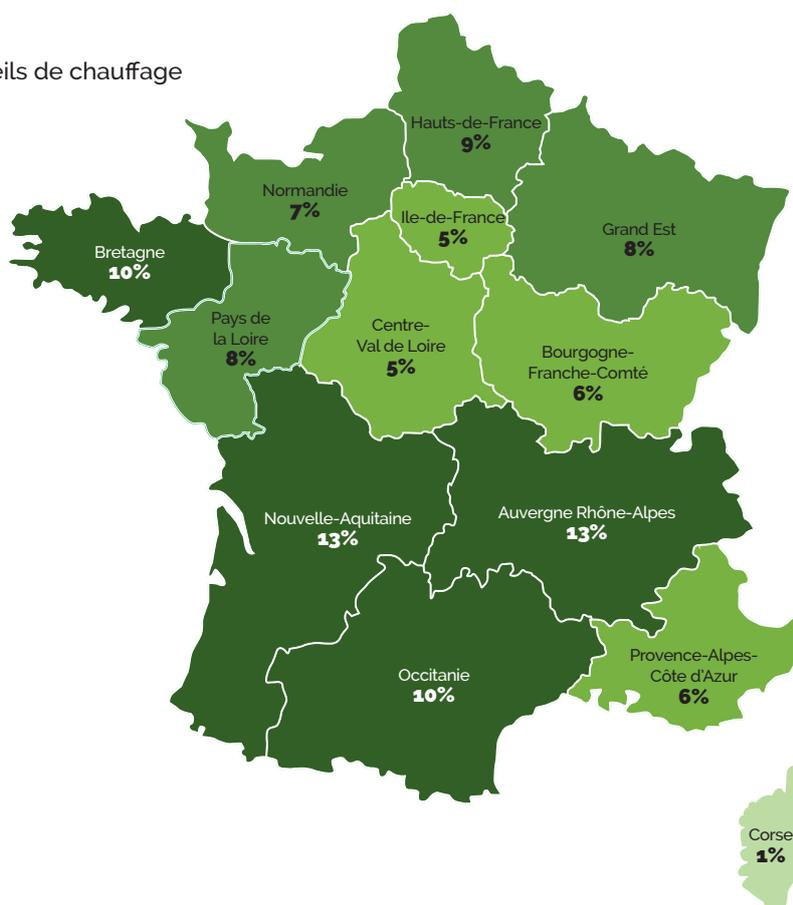
Répartition du parc par typologie d'appareils au bois domestique fin 2021

Source: ADEME/Observ'ER / SDES/ SER



Répartition régionale des ventes d'appareils de chauffage au bois domestique en 2021

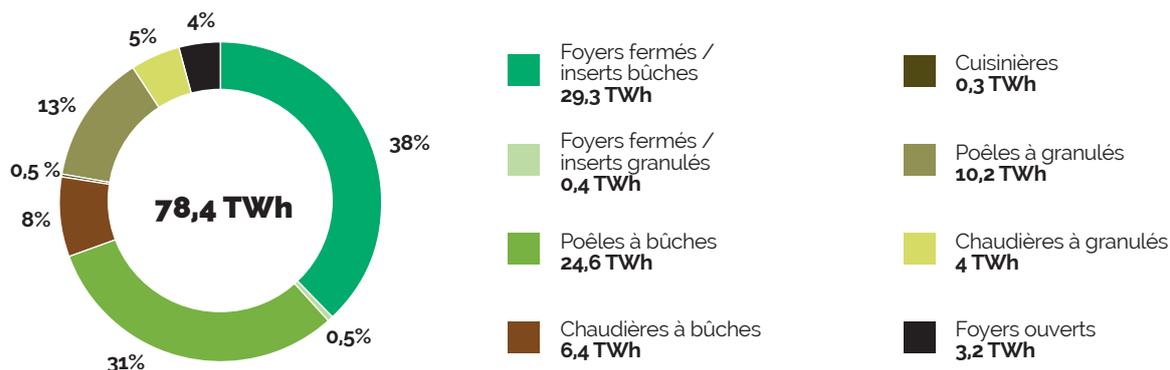
Source : Observ'ER 2021



1.2.3. Production de chaleur renouvelable

Production de chaleur renouvelable issue des appareils de chauffage au bois domestique en 2021 (en TWh)

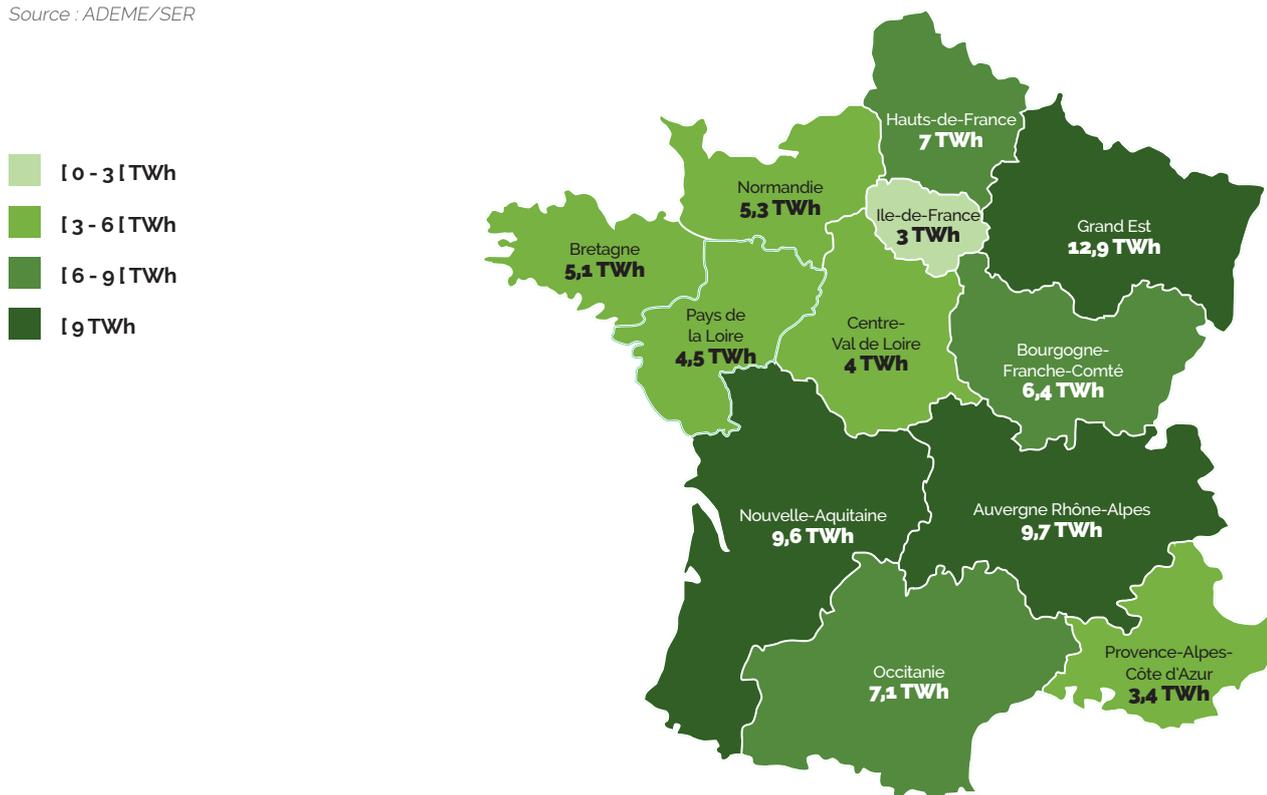
Source : ADEME / Observ'ER / SER / SDES



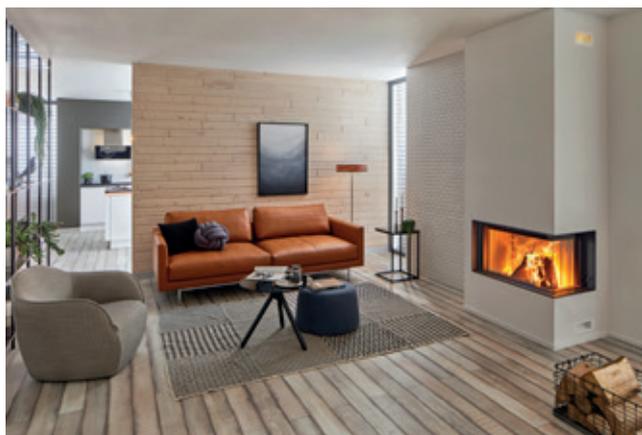
La production de chaleur renouvelable provient à 87 % d'appareils utilisant de la bûche et à 13 % d'appareils utilisant des granulés.

Répartition régionale de la production de chaleur renouvelable issue des appareils de chauffage au bois domestique en 2021 (en TWh)

Source : ADEME/SER



1.2.4. Typologie des appareils



© Spartherm

Insert et Foyer fermé

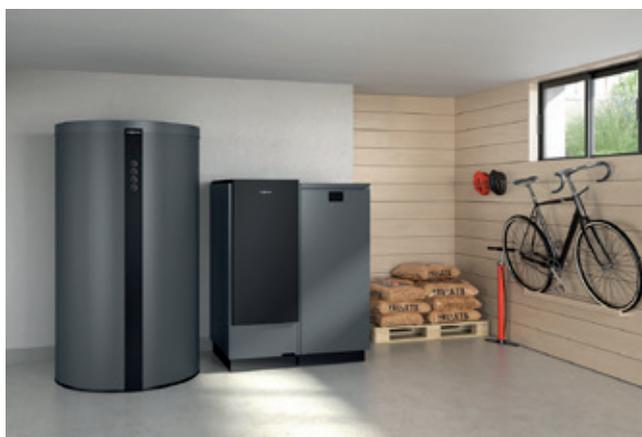
Un foyer fermé, aussi appelé insert, est une chambre de combustion métallique comportant une ou plusieurs portes et laissant apparaître le feu à travers des vitres spéciales. Il s'insère dans le foyer d'une cheminée de chauffage au bois traditionnelle ou peut être intégré dans un habillage moderne. Traditionnellement à bûches, depuis quelques années certains modèles se sont développés avec des granulés.



© Turbo Fonte

Poêle à bois

Un poêle est un appareil individuel de chauffage qui assure le chauffage d'une pièce ou d'une maison neuve ou rénovée. Les poêles à bois utilisent des bûches ou des granulés.



© Viesmann - Vitigno 200-C

Chaudière à bois

La chaudière est un générateur de chaleur produisant généralement de l'eau chaude pour le chauffage. Une chaudière comporte un corps de chauffe avec un circuit d'eau intégré qui récupère la chaleur produite par un brûleur utilisant un combustible. Les chaudières à bois utilisent des bûches, des granulés, des plaquettes ou sont poly-combustibles.



© Codin

Cuisinière à bois

La cuisinière à bois, autrement appelée piano de cuisine, utilise des bûches ou des granulés pour produire de la chaleur. Le foyer permet principalement de cuisiner grâce à un four et des plaques en fonte et permet aussi d'assurer une partie du chauffage de la maison.

1.3. Caractéristiques et atouts

1.3.1 Typologie des combustibles pour le bois-énergie

Le bois combustible a diverses origines :

LES COMBUSTIBLES BOIS ISSUS DE LA FORÊT

- Le bois bûche
- Les plaquettes forestières

LES COMBUSTIBLES BOIS HORS FORÊT

- Les bois des bocages, de l'agroforesterie et des taillis à courte rotation
- Les bois paysagers (entretien des parcs et espaces verts)

LES COMBUSTIBLES BOIS ISSUS DE L'INDUSTRIE DU BOIS

- Les granulés (ou « pellets », terme anglais)
- Les briquettes et bûchettes reconstituées
- Les produits issus des connexes de scierie (écorces, bois déchiquetés, sciures, etc.)
- Les produits intermédiaires issus du process de production (liqueurs noires, etc.)

LES COMBUSTIBLES BOIS EN FIN DE VIE

- Les emballages en bois (palettes, caisses, etc.) usagés
- Les déchets d'ameublement en bois
- Les déchets de démolition et de déconstruction des bâtiments

FOCUS SUR LA BIOMASSE FORESTIÈRE EN FRANCE⁶

Situation actuelle

En **métropole**, la surface forestière a augmenté de 2,9 millions d'hectares depuis 1985. Aujourd'hui, avec **17 millions d'hectares**, la forêt occupe 31 % du territoire.

Notre pays dispose également d'une surface forestière de **8,2 millions d'hectares en outre-mer**.

Selon les données de l'IGN, en moyenne sur la période 2010-2018, l'accroissement naturel de bois sur pied s'élève en France métropolitaine à 89,7 millions de m³/an.

Sur la même période, **le volume de bois récolté** (pour des usages en bois d'oeuvre, bois d'industrie et bois énergie) a représenté **60 % de l'accroissement naturel de la forêt**. Le bois-énergie constitue un débouché pour les coupes de bois non utilisées par les autres industries.

Potentiels à moyen terme

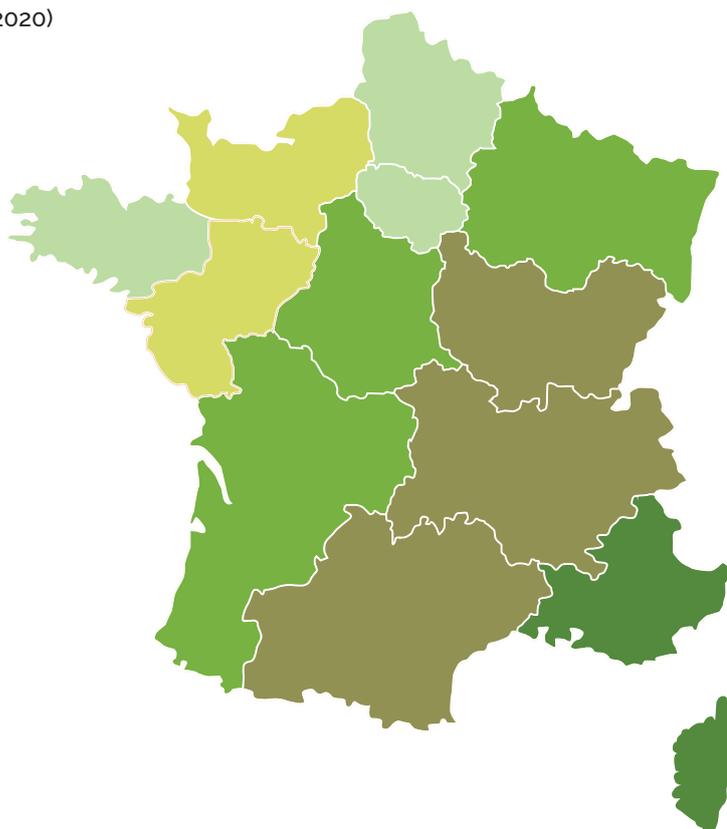
Une étude réalisée en 2016 par l'ADEME, l'IGN et le FCBA montrait qu'à **l'horizon 2035⁷, 19,8 millions de m³ de bois supplémentaires** pourraient être mobilisés annuellement pour des usages énergie et matériaux, si une sylviculture dynamique est mise en place et dans le respect d'une gestion durable de la forêt pour préserver l'ensemble des services écosystémiques rendus par les forêts (réservoir de biodiversité et de carbone, conservation des sols, services socio-culturels, etc.).

Le Plan « Déchets bois », issu du Comité stratégique Filière Bois, évalue **le gisement supplémentaire de déchets bois** mobilisable grâce à un meilleur tri et au détournement de la mise en décharge, à 1,3 millions de tonnes à horizon 2025. 70 % de ce gisement, soit **0,9 million de tonnes**, pourrait être valorisé énergétiquement.

Taux de boisement par région en 2020 (IGN 2020)

Source : IGN 2020, inventaire forestier

- moins de 15%
- entre 15 et 25%
- entre 25 et 35%
- entre 35 et 45%
- 45% et plus



Les régions Corse, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Auvergne-Rhône-Alpes, Occitanie et Bourgogne-Franche-Comté sont les régions les plus boisées et certains territoires ont un taux de boisement supérieur à 70 % : les Landes de Gascogne, le Massif vosgien, les Alpes du Sud, les Cévennes et les Ardennes.

6. SER et FBF « Questions-Réponses : Bois-Energie », publication du 12 mai 2021 et IGN « Mémento inventaire forestier », édition 2020

7. Etude ADEME-FCBA-IGN – « Disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035 », février 2016

1.3.2. Atouts

Le bois-énergie présente plusieurs atouts. Il permet :

- de substituer des énergies fossiles par une énergie renouvelable à fort rendement énergétique, tout en renforçant l'indépendance énergétique française.

Le CO₂ émis par la combustion du bois s'inscrit dans le cycle du carbone biogénique (il est capté par les arbres durant leur croissance).

Grâce à l'usage du bois-énergie (domestique et collectif), ce sont en moyenne 21 millions de tonnes d'émissions de CO₂ évitées chaque année⁸ en substitution aux énergies fossiles importées.

- de participer à l'amélioration de la gestion forestière en apportant un revenu complémentaire aux propriétaires forestiers

L'objectif prioritaire de la sylviculture française est la production de bois d'œuvre à plus forte valeur ajoutée. La fraction restante vendue pour le bois-énergie apporte aux propriétaires forestiers un complément de revenu indispensable à l'entretien de leur patrimoine forestier.

- de contribuer à l'économie circulaire

A ce jour, 800 000 tonnes⁹ de bois en fin de vie sont valorisées dans des chaufferies collectives plutôt que d'aller en décharges.

De plus, les cendres issues de la combustion de bois peuvent être valorisées sur des sols agricoles ou forestiers, pour améliorer les sols (stabilité de la structure, redressement du pH) ou pour les fertiliser (par l'apport de potasse et de phosphore).

- de protéger le pouvoir d'achat des ménages et la compétitivité des entreprises

Le bois-énergie est l'énergie la moins chère en coût global, grâce à ses prix relativement stables et bas en comparaison aux énergies fossiles importées.

- de consolider l'économie locale en créant ou en maintenant des emplois non délocalisables

La filière bois-énergie, c'est 1,3 Md€ de valeur ajoutée annuelle et 50 000 emplois directs et indirects, non délocalisables et bien ancrés dans les territoires¹⁰.

1.4. Exemple de réalisation

Une chaufferie au bois pour un réseau de chaleur rural à Corbie (80)



© VIRIA

Chiffres clés :

- Financement : 900 000 € ADEME, 1 210 000 € FEDER et 2 090 000€ de la FDE de la Somme
- Quantité de chaleur produite : 9 930 MWh PCI / an
- 3 400 tonnes de ressources locales valorisées par an (plaquettes forestières, broyats d'emballages en bois, connexes de scierie).
- Emissions évitées : 1 781 tonnes de CO₂ / an.

La commune de Corbie a transféré sa compétence de distribution de chaleur à la Fédération départementale d'énergie (FDE) de la Somme en 2014, permettant à cette dernière d'y réaliser une chaufferie au bois. Depuis sa mise en service en janvier 2020, un technicien à temps plein assure l'exploitation de l'installation qui dessert via un réseau de chaleur de nombreux équipements situés sur la commune (le centre hospitalier, le lycée, le collège, etc.). La satisfaction des abonnés et le dynamisme autour de ce réseau de chaleur montrent la réussite de ce projet en milieu rural.

La chaufferie est alimentée par des plaquettes forestières mais aussi par des broyats d'emballages de bois en fin de vie et des connexes de scierie, dans un rayon de moins de 100 km. Une réflexion est menée pour développer la valorisation des ressources locales : celles issues de l'entretien des paysages et des bois appartenant aux collectivités alentours ainsi que celles de l'agroforesterie, avec comme projet la structuration d'une filière d'approvisionnement en combustibles avec des agriculteurs locaux.

8. Selon la méthodologie de l'ADEME, avec les hypothèses suivantes : un rendement énergétique des chaudières gaz de 90% et un facteur d'émission du gaz naturel en combustion de 0,187 tCO₂/MWh PCI.

9. Source : Plan Déchets du CSF Bois

10. SER & FBF « Questions-Réponses : Bois-Energie », mai 2021



2. Pompes à chaleur aérothermiques

Une pompe à chaleur (PAC) aérothermique exploite la chaleur présente naturellement dans l'air ambiant pour en faire une source de chauffage, de climatisation ou de production d'eau chaude. Différentes technologies sont utilisées dans les maisons individuelles, les logements collectifs et les bâtiments tertiaires.

2.1. Chiffres clés	17
2.2. Parc installé et nouvelles installations	17
2.2.1. Parc installé par technologie et par secteur	17
2.2.2. Production de chaleur renouvelable	17
2.2.3. Nouvelles installations	18
2.3. Caractéristiques et atouts	18
2.3.1. Définitions et typologies	18
2.3.2. Atouts	19
2.4. Exemple de réalisation	19

2.1. Chiffres clés¹¹



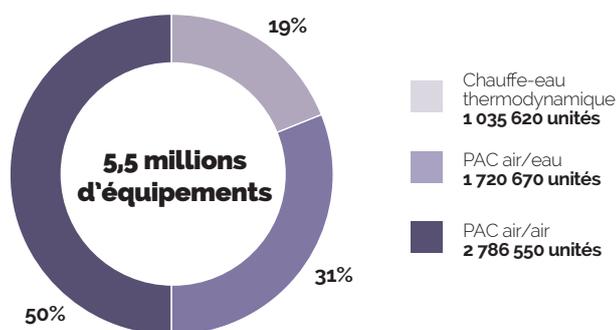
La production de chaleur renouvelable des pompes à chaleur aérothermiques s'élève à 33,8 TWh en 2021 en France métropolitaine et couvre 4,8 % de la consommation finale de chaleur sur cette même année. Le parc se compose de 5,5 millions d'équipements en fonctionnement.

2.2. Parc installé et nouvelles installations

2.2.1. Parc installé par technologie et par secteur

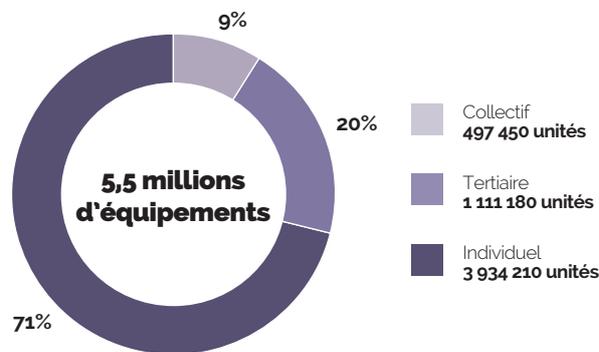
Nombre d'équipements aérothermiques installés par type de technologie fin 2021

Source: AFPAC, CEREN, Uniclîma



Nombre d'équipements aérothermiques installés par secteur fin 2021

Source: AFPAC, CEREN, Uniclîma

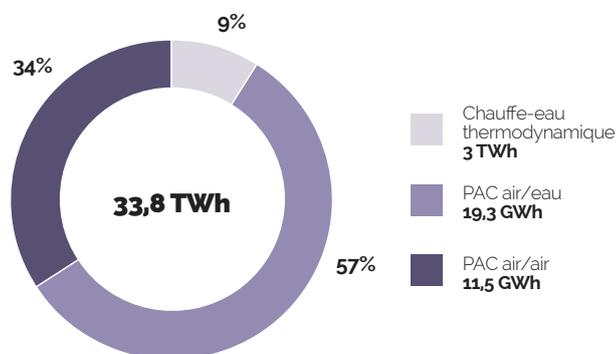


Fin 2021, les PAC air/air¹² représentent la moitié du parc des installations aérothermiques en France métropolitaine. Les équipements aérothermiques sont en grande majorité installés dans des maisons individuelles. Les PAC aérothermiques en immeubles collectifs, en neuf ou en rénovation, sont encore peu fréquentes.

2.2.2. Production de chaleur renouvelable

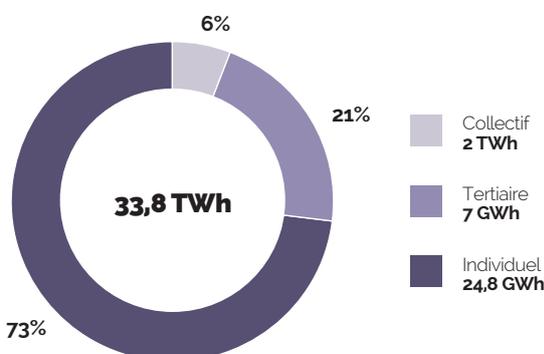
Production de chaleur renouvelable par type de technologie en 2021 (en TWh)

Source: AFPAC, CEREN, Uniclîma



Production de chaleur renouvelable par secteur en 2021 (en TWh)

Source: AFPAC, CEREN, Uniclîma



En 2021, les PAC air/eau contribuent à la majorité de la production de chaleur renouvelable des équipements aérothermiques. La production de chaleur renouvelable des équipements aérothermiques est principalement utilisée dans des maisons individuelles.

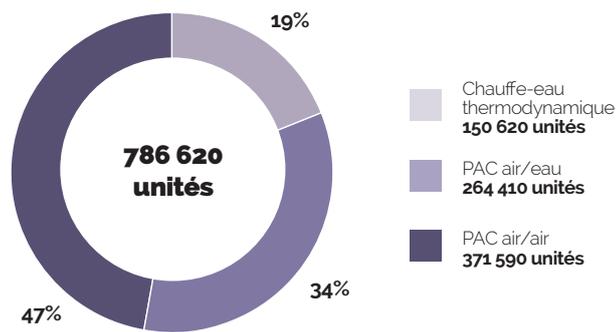
11. Les données présentées dans ce chapitre ont été consolidées par UNICLIMA et l'AFPAC sur la base de données réelles et à l'aide de différentes hypothèses de calcul. Elles concernent la France métropolitaine.

12. PAC air/air utilisées en chauffage

2.2.3. Nouvelles installations

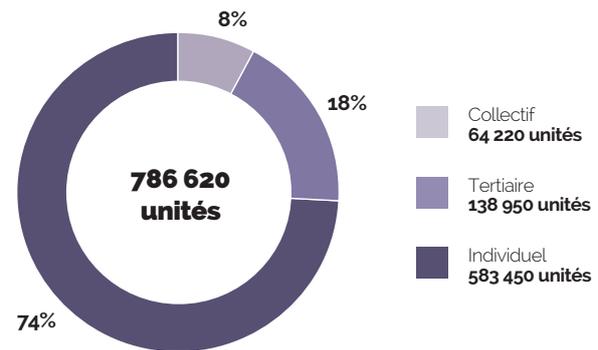
Répartition des ventes par type de technologie en 2021

Source: AFPAC, CEREN, Uniclîma



Répartition des ventes par secteur en 2021

Source: AFPAC, CEREN, Uniclîma



En 2021, près de 800 000 équipements aérothermiques ont été vendus en France, avec une majorité de PAC (air/air ou air/eau), principalement dans le secteur des maisons individuelles.

2.3. Caractéristiques et atouts

2.3.1. Définition et typologies

Une pompe à chaleur (PAC) aérothermique puise l'énergie thermique de l'air pour produire de la chaleur dans le bâtiment (sur vecteur air ou un réseau hydraulique) grâce à un cycle thermodynamique qui, pour fonctionner, utilise de l'électricité ou plus rarement du gaz.

Les différentes technologies aérothermiques disponibles sont :

- **La PAC air/air** : elle prélève la chaleur sur l'air extérieur et la distribue dans l'habitat via l'air intérieur. Cette catégorie inclut les systèmes à Débit de Réfrigérant Variable (DRV) et les unités de toiture (rooftop).
- **La PAC air/eau** : cette PAC prélève également la chaleur sur l'air extérieur et l'utilise pour chauffer un système à eau, ce qui convient mieux aux circuits de chauffage (planchers chauffant, radiateurs, etc.) et à la production d'eau chaude sanitaire. Cette catégorie inclut les chillers (refroidisseurs de liquide) également réversibles.
- **Le chauffe-eau thermodynamique (CET)** : il permet de produire de l'eau chaude sanitaire de manière autonome grâce à un système thermodynamique intégré au ballon de stockage, en prélevant la chaleur sur l'air extérieur ou l'air extrait.

Ces différentes technologies aérothermiques permettent de :

- chauffer ou rafraîchir des locaux ;
- produire également de l'eau chaude sanitaire (ECS).
- produire du chaud et du froid renouvelables.

Les principales applications concernent la maison individuelle, les bâtiments tertiaires et les logements collectifs.

La performance d'une pompe à chaleur se traduit par son coefficient de performance (COP) et par son coefficient de performance saisonnière (SCOP), plus représentatif sur une saison de chauffage.

Le SCOP est le rapport entre les kWh de chaleur produits pour 1 kWh d'électricité (ou de gaz) consommé par la pompe à chaleur. Une pompe à chaleur électrique avec un SCOP de 3 produit 3 kWh de chaleur pour une consommation d'électricité de 1 kWh.

Les règlements européens sur l'écoconception imposent une performance minimum pour la mise en marché des PAC sur le territoire européen :

- PAC air/eau : SCOP minimum de 2.8 pour les PAC à moyenne température (adaptées pour les radiateurs), SCOP minimum de 3.2 pour les PAC à basse température (adaptées pour les planchers chauffants).
- PAC air/air : SCOP minimum de 3.4.

Une pompe à chaleur permet ainsi de réduire considérablement la consommation d'énergie électrique (ou d'énergie fossile pour les PAC fonctionnant au gaz).

2.3.2. Atouts

Les pompes à chaleur aérothermiques présentent plusieurs atouts. Elles permettent :

- de remplacer efficacement les énergies fossiles par une énergie renouvelable à la maturité prouvée, tout en renforçant l'indépendance énergétique française ;

Avec un parc de 5,5 millions d'équipements en France métropolitaine, la chaleur renouvelable des PAC aérothermiques permet d'éviter le rejet dans l'atmosphère de 7,8 millions de tonnes de CO₂ par an.¹³

- de produire du chaud et/ou du froid renouvelables via les PAC réversibles ou les thermo-frigo-pompes (production simultanée de chaud et de froid) ;

- d'atteindre les exigences réglementaires de la RE 2020, du bâtiment à énergie positive (BEPOS) et des labels haute qualité environnementale (HQE) ;

- de consolider l'économie locale en créant ou en maintenant des emplois.

Avec 30 sites industriels en France, la filière réalise un chiffre d'affaires de 6,2 milliards d'euros en 2021. Elle compte 45 000 emplois directs et indirects (fabrication, distribution, installation et maintenance) en 2021.¹⁴

2.4. Exemple de réalisation

Un immeuble de 62 logements chauffés par des PAC air/eau collectives à Sartrouville (78)



© Intuis

Le constructeur Nexity a fait le choix de la technologie de PAC air/eau collective pour chauffer les 62 logements d'un immeuble neuf achevé en 2022 à Sartrouville.

Les 3 PAC air/eau d'une puissance unitaire de 80 kW produisent de manière centralisée le chauffage à un régime de température de 70°C/50°C ainsi que l'eau chaude sanitaire grâce à un ballon de 3 000 litres.

Les PAC sont monoblocs et utilisent comme fluide frigorigène le propane, à très faible impact environnemental.

Afin d'assurer une bonne intégration architecturale et de minimiser l'encombrement, les PAC monoblocs ont été installées en toiture. De plus, le recours à des PAC monoblocs permet un très faible impact sonore (moins de 65 décibels dB(A)).

Chiffres clés :

- Puissance totale des PAC air/eau : 240 kW

- Performance énergétique d'une PAC air/eau : SCOP = 3,25 (pour 1 kWh d'électricité consommé, la PAC air/eau restitue 3,25 kWh de chaleur).

- Impacts environnementaux : les PAC air/eau utilisent du fluide frigorigène R290 (propane) dit naturel, à très faible impact sur le réchauffement climatique.

13. En remplacement du chauffage au gaz pour les PAC air/eau et du chauffage électrique pour les PAC air/air, avec les hypothèses suivantes :

- émissions de CO₂ du gaz = 0,227 kg CO₂/kWh et rendement chaudière gaz de 92%

- émissions de CO₂ du chauffage électrique = 0,079 kg CO₂/kWh

14. Source : AFPAC 2021

3. Géothermies

La géothermie valorise la chaleur du sous-sol à diverses profondeurs. Elle peut être exploitée pour de nombreux usages : chauffage, rafraîchissement, climatisation, stockage d'énergie, production de vapeur.

3.1. Géothermie de surface	21
3.1.1. Chiffres clés	21
3.1.2. Parc installé et nouvelles installations	21
3.2. Géothermie profonde	22
3.2.1. Chiffres clés	22
3.2.2. Parc installé	22
3.2.3. Production de chaleur renouvelable	23
3.3. Caractéristiques et atouts	23
3.3.1. Définitions et typologies	23
3.3.2. Atouts	24
3.4. Exemples de réalisations	25
→ Focus sur le gisement géothermique en France	26

3.1. Géothermie de surface

La géothermie de surface valorise la chaleur du proche sous-sol à faible profondeur (moins de 200 mètres) et à faible température (moins de 30 °C), via une pompe à chaleur (PAC) géothermique couplée à des capteurs enterrés ou via des forages qui exploitent la chaleur d'aquifères superficiels.

3.1.1. Chiffres clés¹⁵



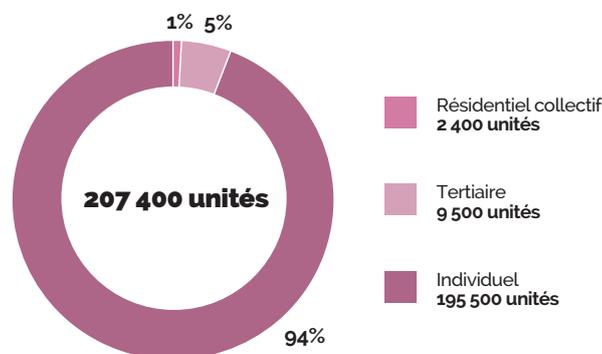
En 2021, la production de chaleur renouvelable de la géothermie de surface s'élève à 4,8 TWh en France métropolitaine et couvre 0,7 % de la consommation finale de chaleur renouvelable. Le parc se compose de 207 400 pompes à chaleur (PAC) géothermiques.

3.1.2. Parc installé et nouvelles installations

3.1.2.1. Caractéristiques du parc

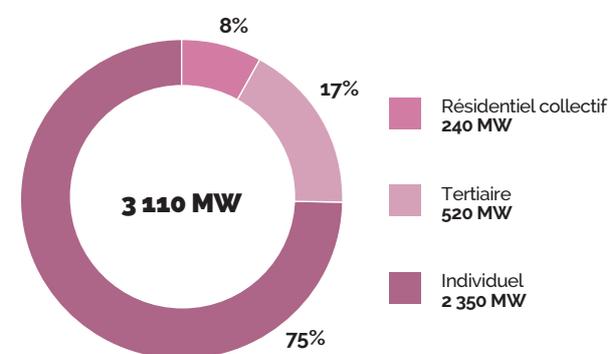
Nombre de PAC géothermiques installées par secteur au 31 décembre 2021

Source: SER, AFPAC, SDES, UNICLIMA, BRGM et ADEME



Répartition des puissances installées des PAC géothermiques par secteur au 31 décembre 2021 (en MW)

Source: SER, AFPAC, SDES, UNICLIMA, BRGM et ADEME



À fin 2021, le parc des PAC géothermiques installées est essentiellement dans le secteur individuel (94 %) qui représente la majorité des puissances installées (75 %).

15. La méthodologie de calcul est le fruit d'un travail collaboratif entre les acteurs représentatifs de la filière (l'AFPAC, le BRGM, le SER, UNICLIMA, l'AFPAC), l'ADEME, Observ'ER et le service statistique du ministère de la transition énergétique (SDES).

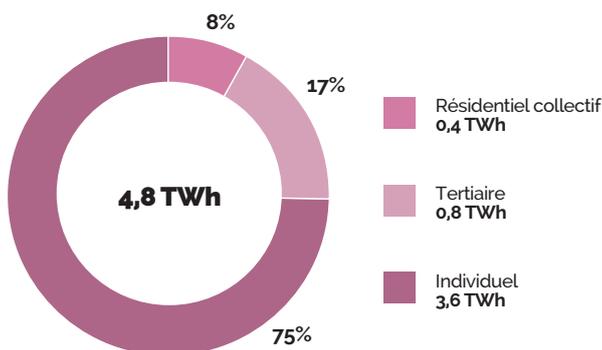
Les hypothèses suivantes ont été retenues :

- un temps de fonctionnement moyen des PAC géothermiques de 2 070 heures pour tous les secteurs ;
- un coefficient de performance de 4 pour tous les secteurs (contre 3,5 selon la réglementation), pour mieux correspondre aux performances réelles des installations ;
- des puissances moyennes différenciées par secteur : 12 kW pour le résidentiel individuel, 55 kW pour le tertiaire et 100 kW pour le résidentiel collectif ;
- une durée de vie moyenne des installations de 20 ans pour tous les secteurs.

3.1.2.2. Production de chaleur renouvelable des installations

Production de chaleur renouvelable des PAC géothermiques par secteur en 2021 (en TWh)

Source : SER, AFPAC, SDES, UNICLIMA, BRGM et ADEME

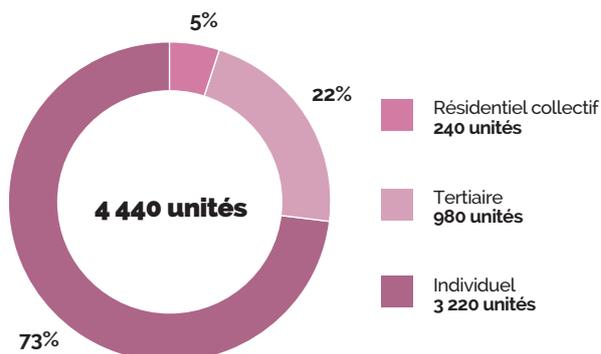


En 2021, les PAC géothermiques installées dans le secteur individuel assurent la majorité de la production de chaleur renouvelable issue de la géothermie de surface.

3.1.2.3. Nouvelles installations

Répartition des ventes de PAC géothermiques par secteur en 2021

Source : SER, AFPAC, SDES, UNICLIMA, BRGM et ADEME



En 2021, le secteur individuel a dominé le marché des ventes des PAC géothermiques.

3.2. Géothermie profonde

La géothermie profonde capte une eau à plus de 30 °C dans des aquifères profonds (en général à plus de 800 mètres de profondeur) afin de chauffer des bâtiments et/ou des sites industriels, directement ou via un réseau de chaleur.

3.2.1. Chiffres clés¹⁶



En 2020, avec 72 installations en fonctionnement en France métropolitaine, la production de chaleur renouvelable des installations de géothermie profonde s'élève à 2 TWh, ce qui couvre 0,2 % de la consommation finale de chaleur en 2021.

3.2.2. Parc installé

Parc des installations de géothermie profonde par bassin géologique en France métropolitaine au 31 décembre 2020

Source : AFPG et BRGM

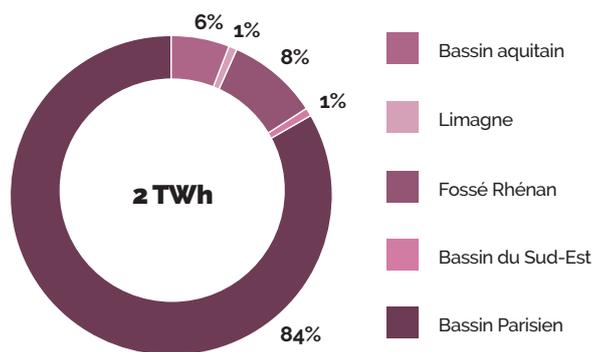
BASSIN GÉOLOGIQUE	NOMBRE D'INSTALLATIONS
BASSIN PARISIEN	49
BASSIN AQUITAIN	17
BASSIN DU SUD-EST	4
LIMAGNE	1
FOSSÉ RHÉNAN	1
TOTAL	72

16. Les données présentées sur la géothermie profonde ont été consolidées par l'AFPG à partir de la base de données SYBASE conçue par le BRGM et à l'aide de différentes hypothèses de calcul. Elles concernent l'année 2020.

3.2.3. Production de chaleur renouvelable

Production de chaleur renouvelable de la géothermie profonde par bassin géologique en 2020 (en TWh)

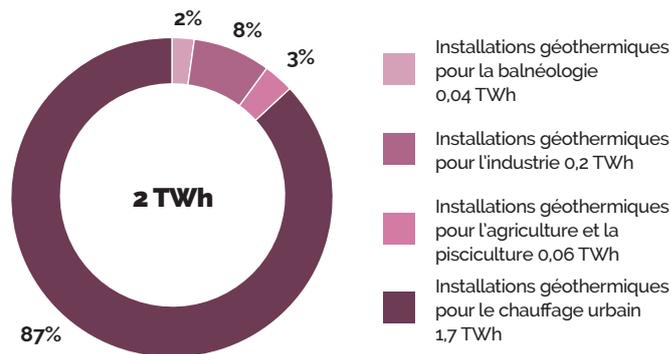
Source : AFPG et BRGM



En 2020, la grande majorité de la chaleur renouvelable issue de la géothermie profonde provient du Bassin parisien.

Production de chaleur renouvelable de la géothermie profonde par usage en 2020 (en TWh)

Source : AFPG et BRGM



En 2020, le chauffage urbain est l'usage dominant de la chaleur renouvelable produite par les installations de géothermie profonde en France métropolitaine.

3.3. Caractéristiques et atouts

3.3.1. Définitions et typologies

Géothermie de surface et géothermie profonde

Le principe de la géothermie consiste à récupérer la chaleur disponible sous la surface de la terre. Dans certains cas, on utilise également l'inertie thermique et le fait que la température du sous-sol subit moins de variations saisonnières que la température de surface. Selon la profondeur et la température, on distingue la géothermie de surface et la géothermie profonde.

La **géothermie de surface** valorise la chaleur du proche sous-sol à faible profondeur (moins de 200 mètres) et à faible température (moins de 30 °C), via une pompe à chaleur (PAC) géothermique couplée à des capteurs enterrés ou via des forages qui exploitent la chaleur d'aquifères superficiels.

Il est possible soit de pomper l'eau des aquifères via un système ouvert (l'eau est intégralement réinjectée dans l'aquifère d'origine), soit d'utiliser un système souterrain de circulation en boucle fermée pour acheminer la chaleur du sous-sol jusqu'à la surface. Il est également possible de produire du froid, soit par l'utilisation d'une PAC réversible, soit par géocooling. Le géocooling consiste en l'utilisation "directe" de la température du sous-sol pour assurer le rafraîchissement naturel d'un bâtiment, sans fonctionnement de la pompe à chaleur géothermique.

Ainsi, la géothermie de surface permet de couvrir les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire, de climatisation et de rafraîchissement pour des bâtiments neufs ou rénovés.

La **géothermie profonde** désigne l'utilisation de la chaleur d'aquifères profonds (en général à plus de 800 mètres de profondeur) avec une température comprise entre 30 °C et 250 °C. On distingue dans ce large éventail de températures :

- La production de chauffage urbain, entre 50 et 80°C,
- La production de chaleur pour des procédés industriels, agroalimentaires ou la balnéologie, entre 30 et 180°C,
- La production de froid industriel, aux alentours de 100 °C,
- La production d'électricité ou la cogénération, au-delà de 150°C.

Les températures inférieures à 100°C se trouvent en général dans les couches sédimentaires, celles entre 100 et 180°C se trouvent dans les fossés d'effondrement et les températures au-delà de 200°C se trouvent dans les zones volcaniques.

Dans le cas de la production de chaleur, l'installation géothermique repose sur un doublet de forages constitué d'un puits de production et d'un puits de réinjection. L'eau géothermale pompée jusqu'à la surface cède sa chaleur dans un échangeur thermique à l'eau d'un réseau de chaleur, à la sortie de l'échangeur l'eau géothermale refroidie est réinjectée dans l'aquifère d'origine. Le chauffage des bâtiments, à l'aide de réseaux de chaleur géothermique, est le premier poste d'utilisation de la géothermie en France.

TYPLOGIE DES PAC GÉOTHERMIQUES

Une pompe à chaleur (PAC) géothermique est un équipement qui fonctionne sur le principe de la thermodynamique qui consiste à transférer les calories d'un milieu vers un autre avec un coefficient de performance (COP) élevé. Le fluide qui circule dans la PAC est un fluide frigorigène ou de l'eau qui permet d'optimiser le transfert de chaleur entre la source primaire et le milieu à réchauffer ou à refroidir (ballon d'eau chaude, plancher chauffant, radiateur, climatiseur, etc.).

La famille des pompes à chaleur géothermiques se compose de quatre modèles :

PAC SOL/SOL	PAC SOL/EAU	PAC EAU GLYCOLÉE/EAU	PAC EAU/EAU
Elle capte les calories du sol grâce à la circulation d'un liquide frigorigène qui part directement dans le circuit de chauffage.	Elle capte les calories du sol pour les envoyer vers la pompe à chaleur.	Elle capte la chaleur du sol grâce à la circulation d'eau glycolée en profondeur.	Elle capte les calories dans une nappe phréatique pour les envoyer vers la pompe à chaleur.
COP DE 3 À 4	COP DE 3 À 4	COP DE 3 À 5	COP DE 5 À 6

Le choix d'un type de pompe à chaleur géothermique dépend surtout de l'espace disponible à l'extérieur du bâtiment.

La performance énergétique d'une pompe à chaleur est mesurée en laboratoire par son coefficient de performance (COP) : il correspond au rapport entre l'énergie produite et l'énergie consommée pour faire fonctionner la PAC.

Le règlement européen sur l'écoconception exige un COP minimum de 3,5 pour la mise en marché des PAC géothermiques. Le COP moyen d'une PAC géothermique est égal à 4. Avec du géocooling, la consommation d'énergie baissera car pour 1 kWh d'électricité consommée, il permet de produire entre 30 et 50 kWh de rafraîchissement.

3.3.2 Atouts

La géothermie présente plusieurs atouts :

- Elle remplace efficacement les énergies fossiles par une énergie renouvelable à la maturité prouvée, tout en renforçant l'indépendance énergétique française.

La géothermie fait appel à des ressources renouvelables : les calories du sous-sol.

Les installations de géothermie de surface rejettent en moyenne 45 g de CO₂ éq par kWh de chauffage, soit 5 fois moins que celles au gaz naturel (227 g de CO₂ éq par kWh) et 7 fois moins que celles au fioul (324 g de CO₂ éq par kWh)¹⁷. La cinquantaine de réseaux de chaleur alimentés en géothermie profonde en Île-de-France permet d'éviter en moyenne l'émission de 320 000 tonnes de CO₂ par an, par rapport à un chauffage au gaz¹⁸.

De plus, la géothermie améliore et préserve la qualité de l'air dans nos villes et nos territoires en produisant une énergie abondante sans combustion. Son exploitation est silencieuse et ses installations totalement intégrées dans le paysage.

- Elle est la seule énergie renouvelable capable de produire à la fois de la chaleur, du froid, du rafraîchissement et de l'électricité, avec une haute performance énergétique et une disponibilité 24h sur 24 indépendamment des conditions climatiques et saisonnières.

Comme une PAC géothermique ne rejette pas de chaleur dans l'atmosphère tout en produisant du froid renouvelable, elle ne contribue pas à la création d'îlots de chaleur urbain, ce qui est un atout crucial dans un contexte d'augmentation des épisodes de canicule.

- Elle est l'une des énergies renouvelables les plus compétitives sur le long terme en ce qui concerne les prix de vente de la chaleur distribuée par les réseaux de chaleur.

L'achat d'une PAC géothermique est vite amorti car elle a un coût de fonctionnement peu élevé et fonctionne en toute saison sans nécessiter de chauffage d'appoint supplémentaire. C'est un investissement qui permet de faire des économies de chauffage au fil des années.

Les coûts d'investissement de la géothermie profonde sont élevés mais les coûts de fonctionnement sont réduits et stables, ce qui offre une rentabilité à moyen et long termes.

La filière géothermie française dispose de puissants mécanismes de soutien et notamment des garanties du risque géologique, modèles reconnus pour leur pertinence technico-économique : AQUAPAC pour la géothermie de surface et SAF-ENVIRONNEMENT pour la géothermie profonde.

- La géothermie profonde permet de coproduire du lithium, ressource essentielle pour le stockage de l'énergie dans des batteries lithium-ion utilisées par des véhicules électriques par exemple.

Une entreprise française a mis au point sur un site opérationnel un procédé capable d'extraire plus de 95 % du lithium présent dans les eaux géothermales qui circulent en profondeur au sein des granites. Dans l'hypothèse où ce procédé serait étendu à une dizaine d'installations géothermiques, la demande française annuelle de lithium serait satisfaite.

- Elle permet de développer l'économie locale en créant ou en maintenant des emplois.

En 2019, la filière géothermie a généré 2 500 emplois directs et indirects et une valeur ajoutée de 280 millions d'euros en France¹⁹.

17. D'après la base de données carbone de l'ADEME

18. D'après AFPG, La géothermie en France, étude de filière 2021.

19. Source : « Etude EY & SER, Évaluation et analyse de la contribution des énergies renouvelables à l'économie de la France et de ses territoires », 12 juin 2020

3.4 Exemples de réalisations

GÉOTHERMIE DE SURFACE POUR LA HALLE AUX GRAINS DE LA VILLE DE BLOIS (41)



© Commune de Blois

En 1985, la ville de Blois (Loir-et-Cher) a choisi la géothermie de surface dans le cadre de la rénovation de sa Halle aux grains, classée aux monuments historiques, et de sa transformation en salle de spectacle et de congrès.

La discrétion de la géothermie a justifié ce choix (deux forages de 70 et 90 mètres de profondeur) ainsi que les économies d'énergie réalisées grâce à une pompe à chaleur géothermique sur nappe.

Ce choix s'avère toujours judicieux et rentable plus de 30 ans après l'installation.

Chiffres clés :

- Une production de chaud, climatisation & rafraîchissement pour un bâtiment de 4 880 m² de surface.
- Un coût de 191 k€ en 1985, puis 101 k€ en 2011 pour le renouvellement de la pompe à chaleur après 26 ans de fonctionnement.

- Une consommation d'électricité divisée par 2,5 par rapport à une solution électrique classique.
- Un gain environnemental de 1 865 tonnes de CO₂ évitées par an.
- 2 131 MWh d'énergie finale économisée pour les Certificats d'Economie d'Energie (CEE) de la ville de Blois.

LE DOUBLET DE GÉOTHERMIE PROFONDE DE L'AÉROPORT D'ORLY (94)



Fin 2010, une installation de géothermie profonde a été créée sur le site de l'aéroport de Paris-Orly, pour assurer le chauffage d'une partie de ses installations (aérogare et bâtiments tertiaires).

Les deux puits inclinés et orientés du doublet, atteignent une profondeur de près de 1 800 mètres (aquifère du Dogger).

La valorisation de la chaleur s'effectue par échange thermique sur un échangeur à plaques en titane, ce dernier transmet alors la chaleur au circuit d'eau chaude de chauffage de l'aéroport.

Chiffres clés :

- La puissance thermique délivrée par l'installation est de 10 MW.
- Une réduction de la consommation de combustible fossile de 4 000 tonnes équivalent pétrole (tep)
- Un gain environnemental d'environ 9 000 tonnes de CO₂ évitées par an.

Focus sur le gisement géothermique en France

Les ressources du sous-sol sont abondantes et variées. 100 % du territoire français se prête à au moins une technologie de géothermie.

GÉOTHERMIE DE SURFACE

Il est possible d'installer une pompe à chaleur géothermique sur 99 % du territoire national.

GÉOTHERMIE PROFONDE DE MOYENNE ÉNERGIE

• LES AQUIFÈRES PROFONDS

La France possède un fort potentiel en géothermie profonde de moyenne énergie. En effet, de nombreux aquifères profonds (situés principalement dans les bassins sédimentaires) sont présents sur le territoire. Hormis le Bassin Parisien et dans une moindre mesure le Bassin Aquitain, la plupart des aquifères profonds sont actuellement inexploités en France alors qu'ils pourraient produire assez de chaleur pour des millions de logements.

GÉOTHERMIE PROFONDE DE HAUTE ÉNERGIE

• LES ZONES VOLCANIQUES

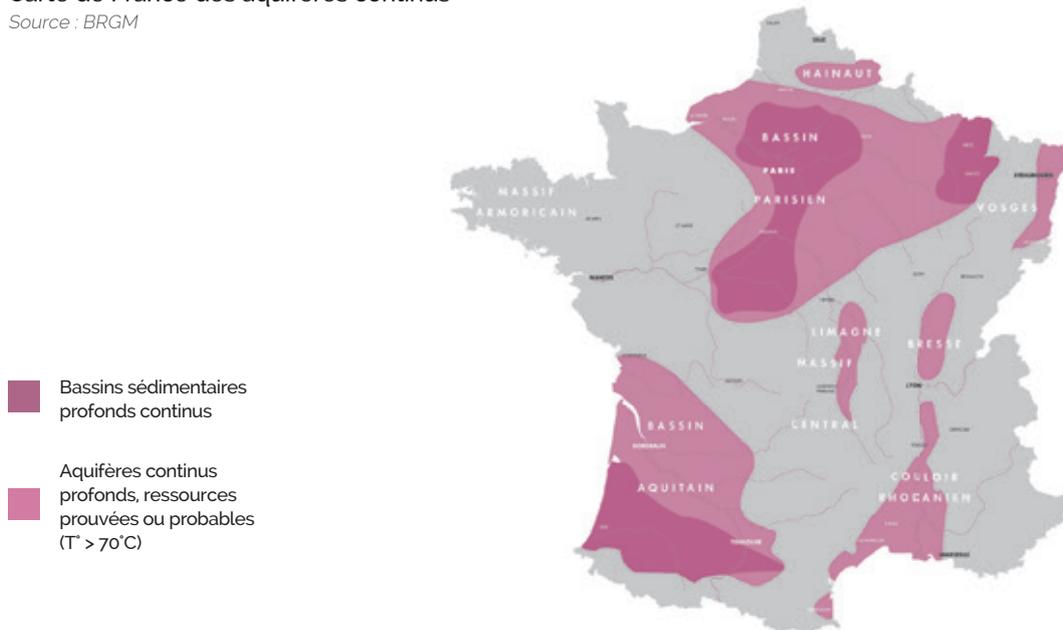
Les zones volcaniques peuvent enregistrer des températures allant jusqu'à 350 °C. En France, l'essentiel des gisements se situe dans les territoires d'outre-mer. Une centrale géothermique fonctionne à Bouillante en Guadeloupe. Les deux unités qui composent la centrale ont une capacité globale de 15,5 MW électriques. Elles sont alimentées en vapeur grâce à deux puits qui exploitent une eau à 250 °C prélevée à partir de forages compris entre 500 et 1 000 mètres de profondeur. Des zones potentiellement intéressantes ont également été identifiées en Martinique, à La Réunion et à Mayotte.

• LES FOSSÉS D'EFFONDREMENT

En dehors des zones volcaniques, les fossés d'effondrement constituent aussi des zones favorables à la géothermie profonde. Ces vastes compartiments souterrains se sont affaissés après un bombement de la croûte terrestre et présentent des températures supérieures à 110 °C au-delà de 2 500 mètres. En France, ils se situent essentiellement dans les vallées du Rhin et du Rhône et dans le Massif central. Il existe une centrale de production de chaleur industrielle à Rittershoffen (Bas-Rhin) dans le fossé rhénan. Cette installation d'une capacité de 25 MW thermiques est constituée de deux forages à 2 500 mètres qui permettent d'utiliser une eau à près de 180 °C pour produire de la vapeur, chauffer de l'air et de l'eau sur un site industriel.

Carte de France des aquifères continus

Source : BRGM





4. Chaleur solaire

Le solaire thermique est une énergie renouvelable de production de chaleur à partir du rayonnement solaire. Les principales applications sont la production d'eau chaude sanitaire, le chauffage et le rafraîchissement de bâtiments d'habitation et tertiaires, ainsi que la production de chaleur pour l'industrie et les réseaux de chaleur.

4.1. Chiffres clés	28
4.2. Parc installé et nouvelles installations	28
4.2.1. Parc installé	28
4.2.2. Répartition régionale du parc	29
4.2.3. Production de chaleur renouvelable	30
4.2.4. Nouvelles installations	31
4.3. Caractéristiques et atouts	32
4.3.1. Définitions et typologies	32
4.3.2. Atouts	32
4.4. Exemple de réalisation	33
→ Focus sur le gisement solaire en France	33

4.1. Chiffres clés²⁰



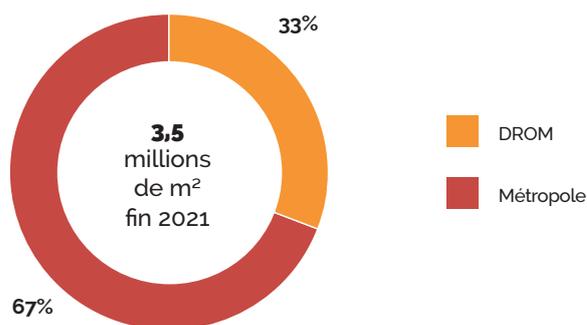
Avec 2,3 millions de m² de capteurs en fonctionnement, le solaire thermique a produit 1,3 TWh de chaleur renouvelable en France métropolitaine et couvre 0,2 % de la consommation finale de chaleur en 2021.

4.2. Parc installé et nouvelles installations

4.2.1. Parc installé

Surface installée (millions de m²) de capteurs solaires thermiques fin 2021

Source : SDES, d'après Observ'ER et UNICLIMA



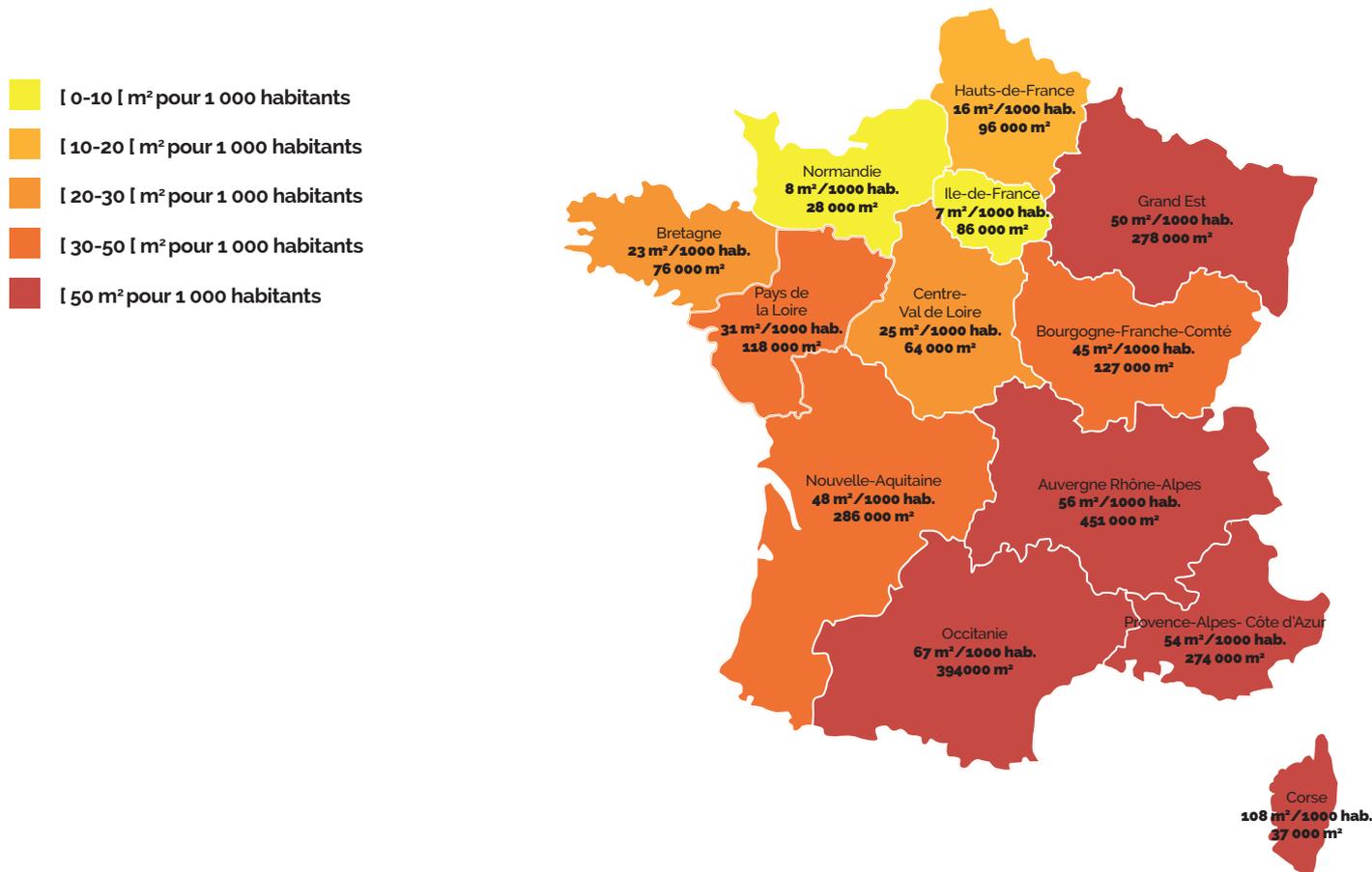
Fin 2021, 3,5 millions de m² de capteurs solaires thermiques sont en service en France, dont un tiers en Départements et Régions d'outre-mer (DROM).

20. Les données présentées dans ce chapitre ont été consolidées par UNICLIMA sur la base de données réelles et à l'aide de différentes hypothèses de calcul. Elles concernent la France métropolitaine et l'outre-mer.

4.2.2. Répartition régionale du parc

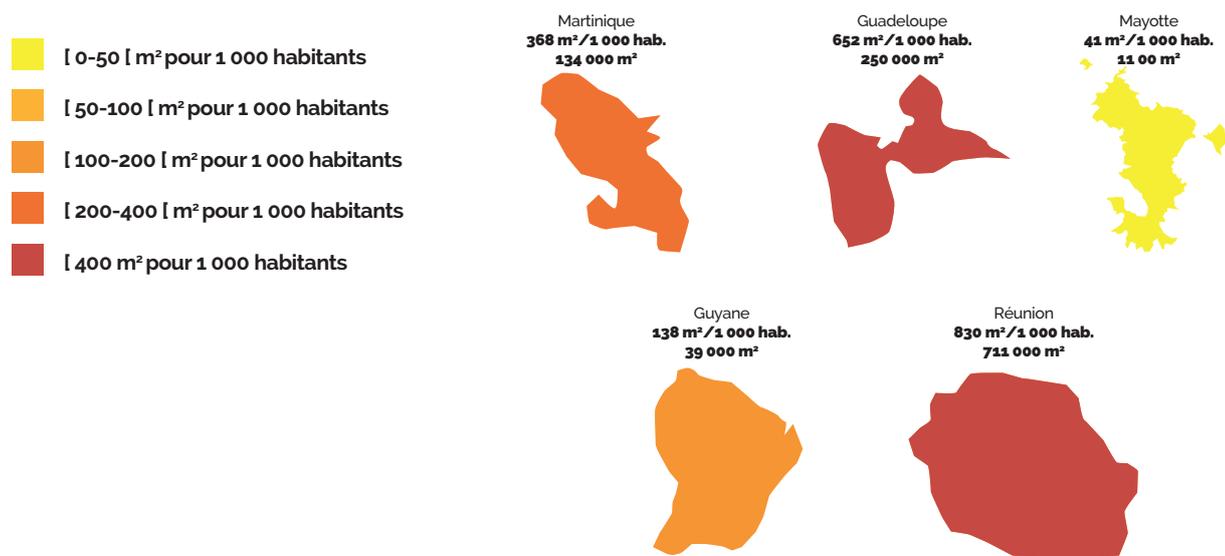
Répartition régionale de la densité des capteurs solaires thermiques en fonctionnement fin 2021 en métropole

Source : SDES, d'après Observ'ER et UNICLIMA



Répartition régionale de la densité de capteurs solaires thermiques en activité fin 2021 en outre-mer

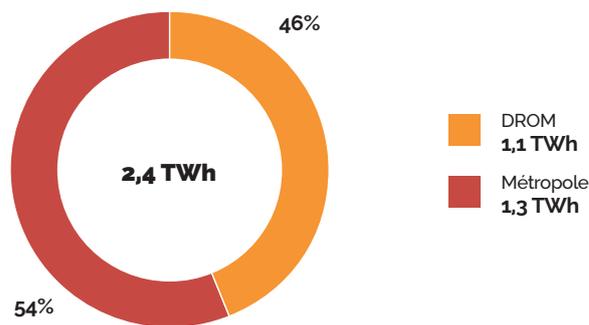
Source : SDES, d'après Observ'ER et UNICLIMA



4.2.3. Production de chaleur renouvelable

Production de chaleur renouvelable du parc en 2021 (en TWh)

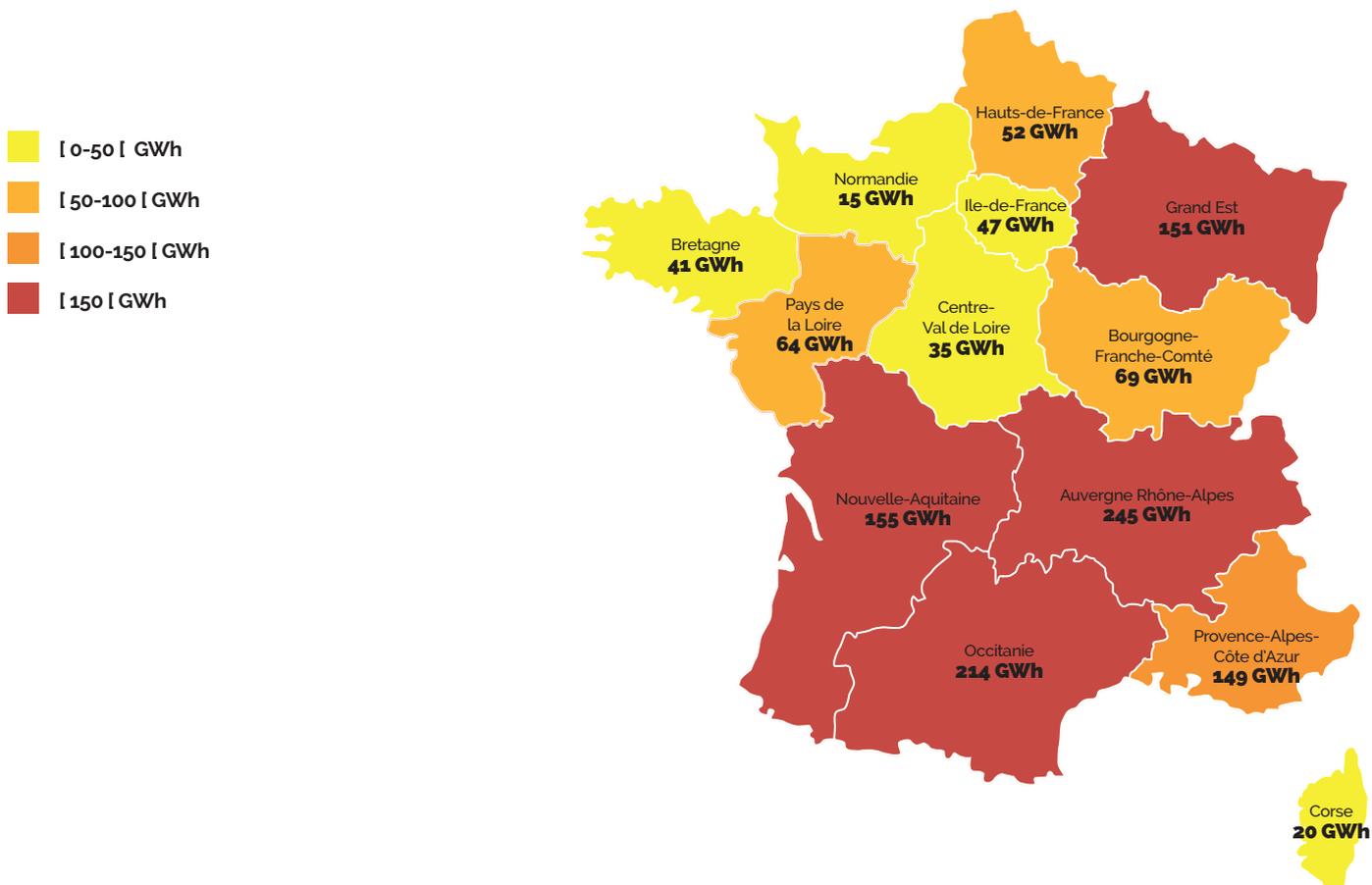
Source : SDES, d'après Observ'ER et UNICLIMA



Les DROM concourent à 46 % de la production de chaleur renouvelable des installations solaires thermiques alors qu'ils représentent 33 % de la surface totale installée de capteurs solaires en France.

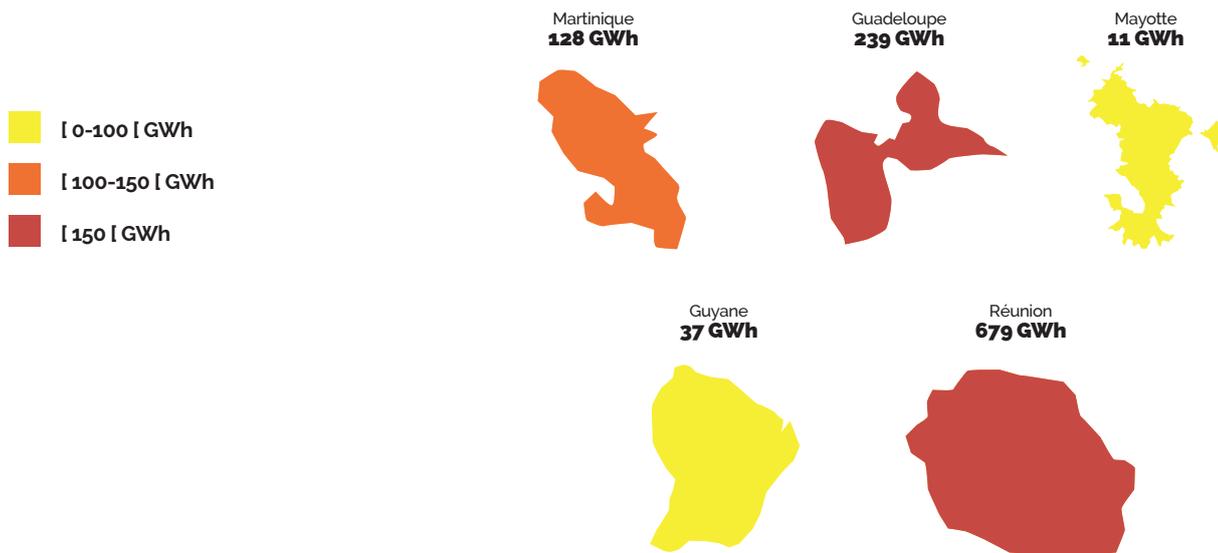
Répartition régionale de la production de chaleur renouvelable du solaire thermique en 2021 en métropole (en GWh)

Source : SDES, d'après Observ'ER et UNICLIMA



Répartition régionale de la production de chaleur renouvelable du solaire thermique en 2021 en outre-mer (en GWh)

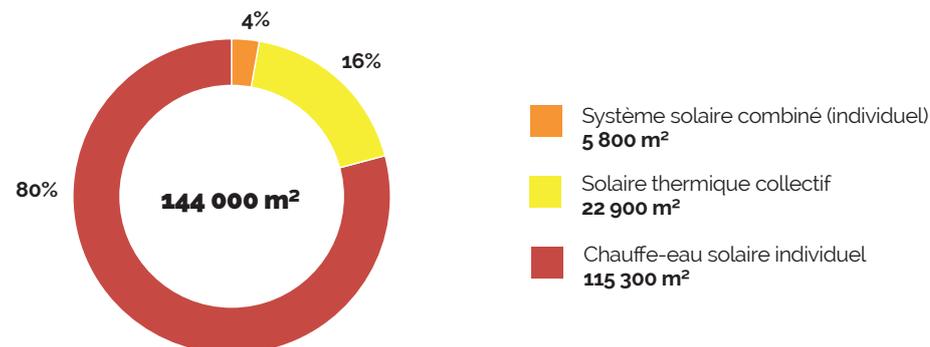
Source : SDES, d'après Observ'ER



4.2.4. Nouvelles installations

Répartition des nouvelles installations de solaire thermique par technologie en 2021 (Métropole et outre-mer)

Source : SDES, d'après Observ'ER et UNICLIMA



La surface des capteurs solaires thermiques installés en France a augmenté de 144 000 m² entre 2020 et 2021. Les chauffe-eau solaires individuels ont représenté 80 % des nouvelles installations.

4.3. Caractéristiques et atouts

4.3.1. Définitions et typologies

Le solaire thermique regroupe différentes technologies de conversion du rayonnement solaire en chaleur. La chaleur est collectée au travers de capteurs solaires puis transportée par un fluide caloporteur et stockée dans un ballon pour des usages multiples : production d'eau chaude sanitaire, chauffage de bâtiments (logements, piscines, serres agricoles, etc.). D'autres applications de la chaleur solaire se développent pour les réseaux de chaleur et les process industriels et même pour la production de froid.

Le solaire thermique pour les besoins d'eau chaude et de chauffage

- **Chauffe-eau solaire individuel (CESI)** : la chaleur récupérée par les panneaux solaires est transmise à un ballon qui permet de chauffer une partie de l'eau sanitaire d'une maison individuelle.
- **Chauffe-eau solaire collectif (CESC)** : le principe est le même que pour les systèmes individuels. L'application la plus courante est la production d'eau chaude sanitaire pour les logements collectifs ou les bâtiments tertiaires.
- **Système solaire combiné (SSC)** : en plus de chauffer un ballon d'eau chaude, le système combiné permet de chauffer directement un bâtiment en étant relié à un système de chauffage traditionnel en appoint.

Le solaire thermique dans l'industrie

Le solaire thermique est une solution de chaleur renouvelable adaptée à des nombreux procédés industriels consommateurs de chaleur, principalement pour des opérations de préchauffage ou de séchage. Les secteurs consommant de forts volumes d'eau chaude, comme les industries du lavage ou encore l'agro-alimentaire, sont des cibles privilégiées où la chaleur solaire peut intégrer les réflexions sur les trajectoires de décarbonation du mix énergétique.

Le solaire thermique sur réseaux de chaleur

Les installations solaires thermiques sur réseau de chaleur sont des solutions complémentaires aux solutions de récupération de chaleur et au bois-énergie, notamment pour des réseaux dont la chaudière est arrêtée ou peu utilisée en période estivale. Les installations se font avec des capteurs de grande dimension, où les dimensionnements les plus courants permettent de couvrir environ 80 % des besoins de chaleur en période estivale.

4.3.2. Atouts

La chaleur solaire présente de nombreux atouts. Elle permet :

- de remplacer efficacement les énergies fossiles par une énergie renouvelable disponible partout, tout en renforçant l'indépendance énergétique française.

Avec 3,5 millions de m² de capteurs installés en France, la chaleur solaire permet d'éviter l'émission de 580 tonnes de CO₂ par an, en comparaison avec le chauffage au gaz²¹.

- de garantir un coût de la chaleur stable sur le long terme.

Gratuite à l'usage, avec des équipements à longue durée de vie, l'énergie solaire permet de fournir de la chaleur pendant de nombreuses années avec des prix stables.

Dans le secteur industriel, des modèles d'affaires en tiers-investissement permettent de bénéficier d'un MWh solaire compétitif dès la 1^{ère} année.

- de consolider l'économie locale en créant ou en maintenant des emplois, notamment dans l'industrie française du solaire.

La filière représente en France métropolitaine 1 500 emplois directs et indirects, pour une valeur ajoutée de plus de 1,5 milliard d'euros²².

La France est un pays exportateur net de capteurs solaires thermiques.

21. Hypothèses du chauffage au gaz : rendement chaudière de 92% et émission de 0,227 kg CO₂/kWh

22. Source : Etude EY & SER, Évaluation et analyse de la contribution des énergies renouvelables à l'économie de la France et de ses territoires, publiée le 12 juin 2020

4.4. Exemple de réalisation

La plus grande centrale solaire thermique de France pour le groupe Lactalis (55)



© Newheat - Lactosol

Chiffres clés :

- Surface de capteurs : 15 000 m²
- Puissance maximale : 13 MW
- Production de chaleur : 8 000 MWh / an
- Réduction de 11 % de la consommation de gaz à l'échelle de l'usine
- Quantité de CO₂ évitée : 2 000 tonnes par an
- Coût de l'installation : 5 millions d'euros.

En 2021, NewHeat, fournisseur de chaleur renouvelable et leader de la chaleur solaire, et le groupe Lactalis, leader mondial des produits laitiers, ont signé un contrat pour la fourniture de l'énergie qui sera produite par une centrale solaire thermique, la plus grande d'Europe alimentant en chaleur un site industriel.

Cette centrale située à Fromeréville-les-Vallons (55), actuellement en travaux sera mise en service au dernier trimestre 2022, et fournira la chaleur solaire nécessaire à la nouvelle tour de séchage de lactosérum du site LactoSerum France.

Le budget prévisionnel de la centrale solaire thermique s'élève à plus de 5 millions d'euros. Ce projet a été retenu par l'ADEME dans le cadre de l'appel à projets « Grandes installations solaires thermiques » du Fonds Chaleur et doit à ce titre recevoir une aide de plus de 2,4 millions d'euros. Ce projet est également soutenu par la Région Grand Est, le Groupement d'Intérêt Public (GIP) Objectif Meuse et la Communauté d'Agglomération du Grand Verdun.

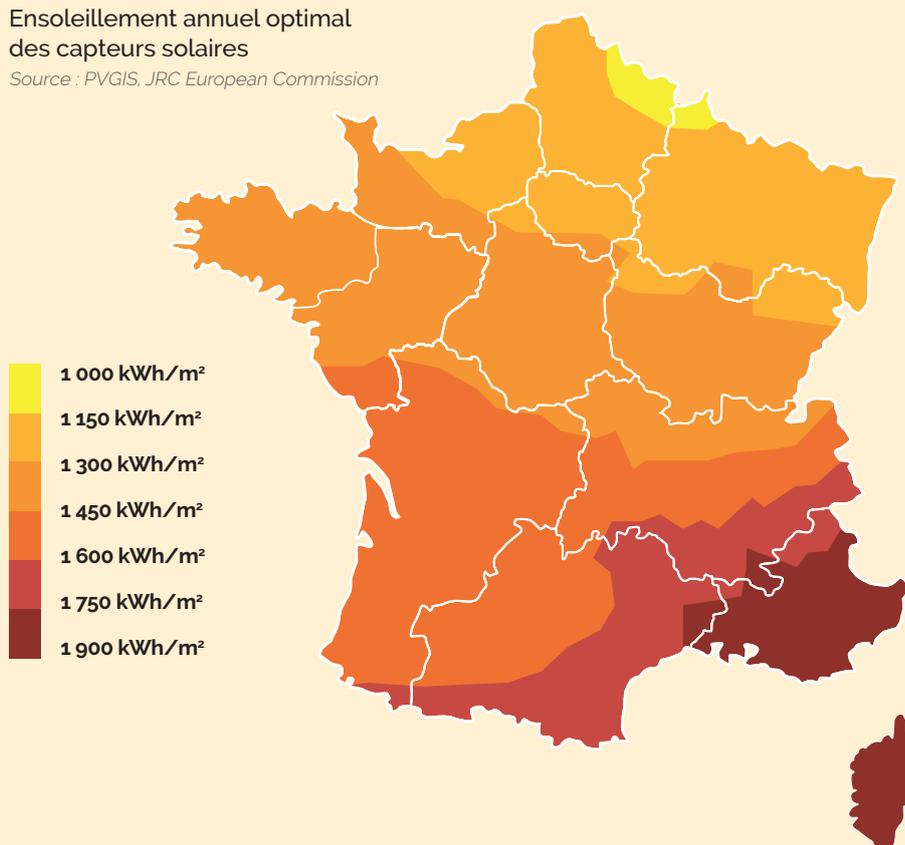
Focus sur le gisement solaire en France

L'énergie solaire est facilement accessible et est exploitable sur tout le territoire français métropolitain et plus encore dans les territoires d'outre-mer. En métropole, l'irradiation solaire (c'est-à-dire la quantité d'énergie solaire reçue en 1 an sur 1 m²) varie en moyenne de 1 100 kWh/m² dans la moitié Nord à près de 1 900 kWh/m² dans le Sud.

La France est en tête des pays les plus ensoleillés d'Europe. Toutefois, tout le gisement solaire n'est pas encore exploité : fin 2020, la France arrive en 6^{ème} position en terme de puissance solaire thermique installée, derrière l'Allemagne en tête puis la Grèce, l'Autriche, l'Espagne et l'Italie (EurObserv'ER, Baromètres solaire thermique et solaire thermodynamique 2021).

Ensoleillement annuel optimal des capteurs solaires

Source : PVGIS, JRC European Commission





5. Gaz renouvelables

Les gaz renouvelables sont produits à partir de matières organiques. En particulier, le biogaz et le biométhane issus de la méthanisation qui est le processus le plus mature à ce jour. Le biogaz peut être valorisé en chaleur seule (par combustion en chaudière), en électricité et en chaleur (par cogénération) ou être épuré sous forme de biométhane qui peut être injecté dans les réseaux de gaz naturel ou encore être utilisé comme biocarburant (BioGNV).

5.1. Chiffres clés	35
5.2. Parc installé	35
5.2.1. Caractéristiques du parc	35
5.2.2. Répartition régionale du parc	36
5.3. Caractéristiques et atouts	36
5.3.1. Définitions et typologies	36
5.3.2. Atouts	38
5.4. Exemple de réalisation	38

5.1. Chiffres clés



À fin 2021, les 1 500 installations qui valorisent des gaz renouvelables en France métropolitaine ont permis de produire 7,9 TWh de chaleur renouvelable. Cette production couvre 1,1 % de la consommation finale de chaleur sur cette même année.

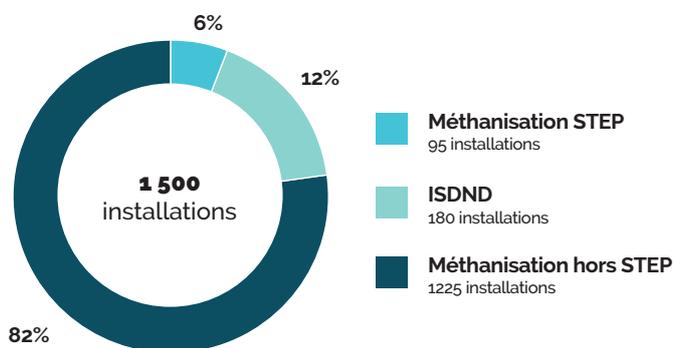
5.2. Parc installé²³

Ce panorama recense toutes les installations qui produisent du biogaz / biométhane (voir typologie en 5.3.1.) et qui les valorisent en chaleur directement (seule ou en cogénération) ou indirectement (par injection dans les réseaux de gaz).

5.2.1. Caractéristiques du parc

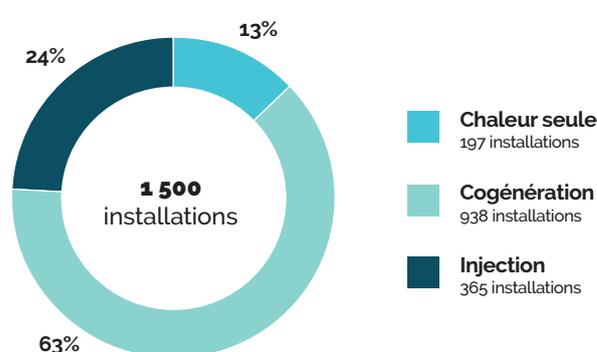
Répartition par typologie des installations produisant des gaz renouvelables en France métropolitaine au 31 décembre 2021

Source : SER, d'après ADEME, Observ'Er et SDES



Répartition par valorisation énergétique des installations produisant des gaz renouvelables en France métropolitaine au 31 décembre 2021

Source : SER, d'après ADEME, Observ'Er et SDES



Fin 2021, le biogaz est majoritairement produit dans des installations de méthanisation hors STEP.

Fin 2021, la majorité des installations de production de biogaz sont en cogénération en France métropolitaine.

²³ Pour les installations qui valorisent du biogaz en chaleur seule :

Source : SER, d'après « Observ'ER & ADEME, Chiffres clés du parc d'unités de méthanisation en France au 1er janvier 2021 », mai 2022

Pour les installations en cogénération :

Source : MTE- SDES « Stat-info n°434, Tableau de bord du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire : biogaz pour la production d'électricité – Quatrième trimestre 2021 »

Pour les installations de biométhane injecté

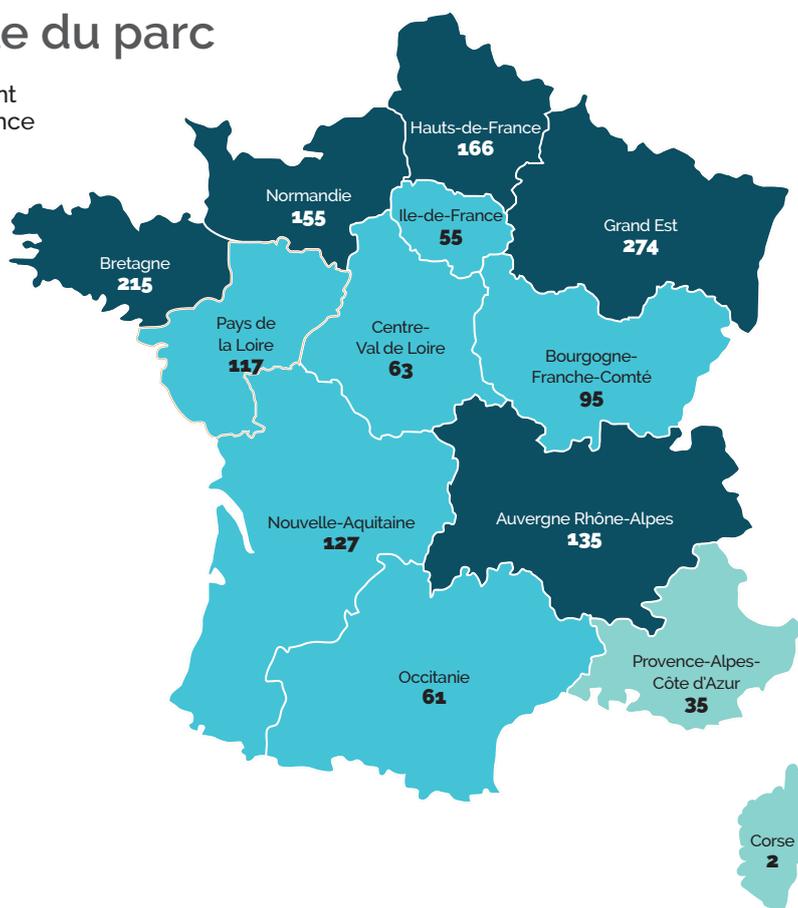
Source : Le « Panorama des gaz renouvelables en 2021 » du SER, GRDF, GRTgaz, SPEGNN et TEREQA.

En 2022, la méthodologie de calcul de la production de chaleur renouvelable à partir de gaz renouvelables a évolué. Premièrement, pour la donnée nationale de production de chaleur, il a été décidé de retenir la « production réelle ». Deuxièmement, la filière du biométhane injecté connaît un fort dynamisme depuis 10 ans, nous avons décidé de comptabiliser la part de l'usage chaleur issue de la filière injection. D'après les données du ministère de la transition énergétique (« Chiffres clés des énergies renouvelables – édition 2022, SDES), 91 % de la quantité totale de biométhane injecté dans les réseaux de gaz naturel en 2021 a servi à un usage final sous forme de chaleur et le reste à usage carburant sous forme de BioGNV.

5.2.2. Répartition régionale du parc

Répartition régionale des installations qui produisent de la chaleur à partir des gaz renouvelables en France métropolitaine au 31 décembre 2021

Sources : SER d'après SDES, ADEME & Observ'ER



5.3. Caractéristiques et atouts

5.3.1 Définitions et typologies

La production de gaz renouvelables (biogaz, biométhane) par **méthanisation** est une filière mature en fort développement. La méthanisation est un processus biologique de dégradation de la matière organique par des micro-organismes, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène.

Typologies des installations de production de biogaz / biométhane²⁴

Il existe trois catégories d'installations : **méthanisation hors STEP**, **méthanisation STEP**, **ISDND**.



Site d'Agrifyl's Energy - Commune de Chaumont (Haute-Marne)

La méthanisation agricole autonome

- portée par un ou plusieurs exploitants agricoles ou par une structure agricole,
- qui méthanisent plus de 90 % des matières agricoles issues de la ou des exploitation(s) agricole(s).

24. MéthaFrance Portail National de la Méthanisation « Les typologies des installations » : <https://www.methafrance.fr/la-methanisation-en-france/les-installations-de-methanisation>



Site de Valois Énergie - Commune de Senlis (Oise)

La méthanisation agricole territoriale

- portée par un agriculteur, un collectif d'agriculteurs ou par une structure agricole,
- qui méthanisent plus de 50 % de matières issues de la ou des exploitation(s) agricole(s),
- intégrant des déchets du territoire (industries, STEP, etc.).



Site de Bioloie - Commune des Essarts-en-Bocage (Vendée)

La méthanisation industrielle territoriale

- portée par un développeur de projet ou par un ou plusieurs industriels,
- qui méthanisent des matières issues ou non d'exploitations agricoles,
- intégrant des déchets du territoire (industrie, STEP, etc.).



Site SEMAVERT - Commune de Vert-Le-Grand (Essonne)

La méthanisation de déchets ménagers et biodéchets

- portée par une collectivité locale, un syndicat de traitement des déchets, un ou plusieurs industriels,
- qui méthanisent les biodéchets collectés sélectivement ou traitant la fraction organique des ordures ménagères triées en usine.



Site de Grange David - Commune de Tours et La Riche (Indre-et-Loire)

La méthanisation de boues de stations d'épuration des eaux usées (STEP)

- portée par une collectivité locale, ou un industriel,
- qui méthanise les boues issues de la dépollution des eaux usées urbaines ou industrielles.



Site ISDND Saint-Maximim - Commune de Saint-Maximim (Oise)

Le biogaz des installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND)

Le biogaz produit naturellement dans les centres d'enfouissement (ISDND) par la décomposition de la fraction organique des déchets non dangereux est récupéré via des réseaux de captage.

LES NOUVELLES VOIES DE PRODUCTION DE GAZ RENOUVELABLES

À moyen terme, de nouveaux procédés de production de gaz renouvelables vont se développer :

- **La pyrogazéification** transforme les déchets résiduels secs non fermentescibles souvent destinés à l'enfouissement ou l'incinération (bois en fin de vie, boues séchées, combustibles solides de récupération, etc.) pour produire du biométhane. Ce procédé produit également du biochar qui peut être utilisé comme un amendement pour améliorer les propriétés physiques des sols.
- **La gazéification hydrothermale** est un procédé thermo-chimique très innovant convertissant à haute pression et haute température des déchets organiques humides en un gaz de synthèse riche en méthane qui peut être injecté dans le réseau de gaz. Ce procédé permet en plus de récupérer des sels minéraux et de l'azote qui peuvent être transformés en fertilisants pour l'agriculture.
- **Le power to gas** permet d'utiliser les excédents de la production d'électricité renouvelable pour produire du méthane de synthèse (ou e-méthane), selon deux phases de production. La première phase vise à employer l'électricité renouvelable pour produire de l'hydrogène (H_2) décarboné par électrolyse de l'eau. La deuxième phase, appelée méthanation, consiste à faire réagir l'hydrogène décarboné avec du dioxyde de carbone (CO_2) provenant de différents sites industriels (stations d'épuration, centres d'enfouissement, méthaniseurs, etc.), pour produire du méthane de synthèse (CH_4) injectable dans le réseau de gaz naturel.

5.3.2 Atouts

La méthanisation présente plusieurs atouts. Elle permet :

- de produire du biogaz qui remplace efficacement les énergies fossiles par une énergie renouvelable, en répondant à une diversité de besoins énergétiques (chaleur, électricité, biométhane injecté, biocarburant-BioGNV), tout en renforçant l'indépendance énergétique française ;

La production et l'injection de 4,3 TWh de biométhane dans les réseaux gaziers en 2021 représente à l'échelle française une réduction d'environ 800 000 tonnes de CO_2 eq²⁵.

- de recycler et valoriser localement une grande diversité de déchets (effluents d'élevage, boues de station d'épuration, déchets ménagers, déchets verts, etc.) ;
- d'apporter une source de revenu complémentaire pour les agriculteurs. De plus, le digestat issu de la méthanisation peut être utilisé comme fertilisant naturel qui remplace les engrais chimiques coûteux et dont la fabrication est fortement consommatrice d'énergie et d'eau ;
- de consolider l'économie locale en créant ou en maintenant des emplois en particulier en zones rurales.

La filière méthanisation représente plus de 800 millions d'euros de valeur ajoutée et plus de 10 000 emplois directs et indirects²⁶.

25. Réduction de CO_2 calculée sur la base d'une substitution du gaz naturel par le biométhane, d'un facteur d'émission de 227g CO_2 eq / kWh PCI pour le gaz naturel (Source Base Carbone®) et d'un facteur d'émission de 23,4g CO_2 eq / kWh PCI pour le biométhane (Source Etude ENEA Quantis 2017).

26. Source : « Etude EY & SER, Évaluation et analyse de la contribution des énergies renouvelables à l'économie de la France et de ses territoires », 12 juin 2020

5.4. Exemple de réalisation

L'unité de méthanisation territoriale REFOOD à Etampes (91)



REFOOD, filiale du groupe Saria, intervient sur l'ensemble de la chaîne de valorisation des biodéchets, depuis la collecte sélective, le déconditionnement et l'hygiénisation des biodéchets (issus d'industries agro-alimentaires, de restaurants, de collectivités territoriales et de la grande distribution), jusqu'à l'épandage de digestat sur des terres agricoles, en passant par la méthanisation.

L'unité de méthanisation d'Etampes, en fonctionnement depuis 2012, transforme les biodéchets collectés sur l'ensemble de l'Île de France et la région Centre, en énergie (électricité et chaleur) et en fertilisants (le digestat) épandus sur des terres agricoles aux alentours.

Cette installation a nécessité un investissement de 9,3 M€ qui a bénéficié de subventions publiques et a débouché sur la création de 15 emplois.

Chiffres clés :

- Les biodéchets valorisés : 40 000 t/an (déchets de restauration, des collectivités, d'entreprises, effluents d'élevage, ...)
- La production d'énergie : 18 350 MWh d'électricité + 2,4 GWh de chaleur
- Le digestat produit : 45 580 m³, soit l'équivalent de 850 t d'engrais pétrochimiques évités, épandu sur plus de 7 000 hectares de terres agricoles à proximité.



6. Valorisation énergétique des déchets

La valorisation énergétique des déchets non dangereux par traitement thermique permet dans le respect de la hiérarchie des modes de gestion des déchets, de valoriser la fraction non recyclable des déchets sous forme de chaleur et/ou d'électricité. La moitié de cette production d'énergie est considérée comme renouvelable, l'autre est dite de récupération.

6.1. Chiffres clés	41
6.2. Parc installé	41
6.2.1. Unités de valorisation énergétique (UVE)	41
6.2.2. Production de chaleur renouvelable et de récupération	41
6.3. Caractéristiques et atouts	42
6.3.1. Définitions et typologies	42
6.3.2. Atouts	44
→ Focus sur le gisement de combustibles solides de récupération	44
6.4. Exemple de réalisation	45

6.1. Chiffres clés²⁷



En France métropolitaine, 114 installations de valorisation énergétique de déchets non dangereux ont produit 11,2 TWh de chaleur renouvelable et de récupération en 2021, ce qui représente 1,6 % de la consommation finale de chaleur.

6.2. Parc installé

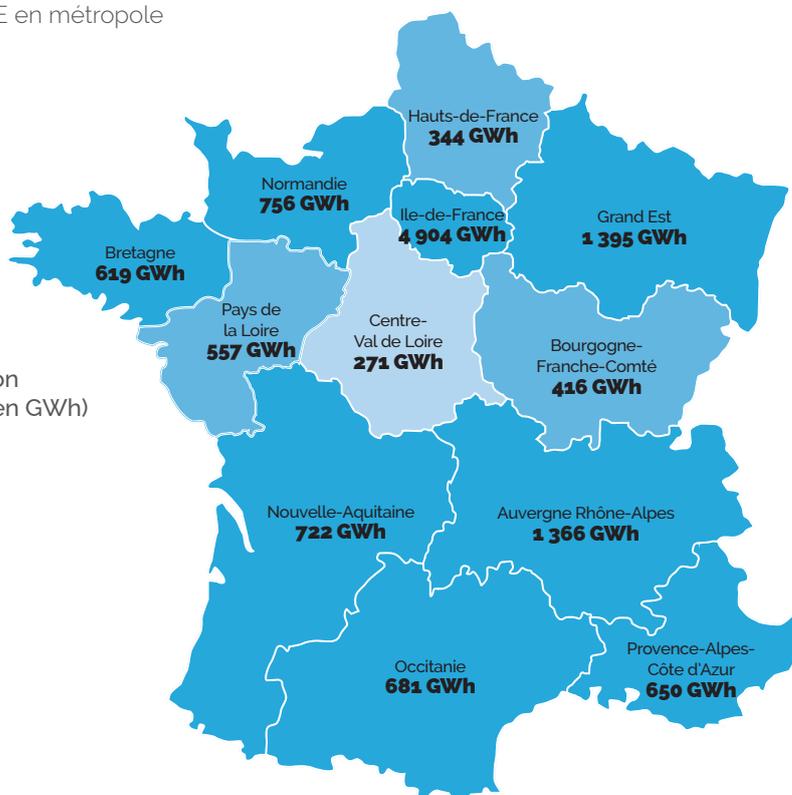
6.2.1. Unités de valorisation énergétique (UVE)

Fin 2021, 118 usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) sont en service en France, 116 sur le territoire métropolitain et 2 en outre-mer (une à Saint Barthélemy et une en Martinique).

En métropole, 114 unités (UVE) récupèrent et valorisent de l'énergie à partir du traitement thermique des déchets non dangereux en produisant de la chaleur seule ou en cogénération.

6.2.2. Production de chaleur renouvelable et de récupération²⁸

La production d'énergie thermique totale des UVE en métropole s'élève à 11,2 TWh en 2021.



Répartition régionale de la chaleur renouvelable et de récupération issue des unités de valorisation énergétique en France métropolitaine en 2020 (en GWh)

Source : SVDU 2020



En complément, la production d'énergie thermique issue des UVE dans les DROM s'élève à 42 GWh à fin 2020.

27. Les données présentées dans ce chapitre ont été consolidées par la FEDENE sur la base de données réelles et à l'aide de différentes hypothèses de calcul. Elles concernent la France métropolitaine. Certaines données sont également fournies pour les installations en outremer.

28. La valorisation d'énergie thermique des UVE prend en compte la part autoconsommée en plus de la part vendue. 50 % de cette production de chaleur est réglementairement considérée comme renouvelable, les 50 % restants sont qualifiés de chaleur de récupération (selon l'article L211-2 du code de l'énergie).

6.3. Caractéristiques et atouts

6.3.1. Définitions et typologies

La valorisation énergétique des déchets consiste à opérer une combustion maîtrisée de la fraction résiduelle des déchets ménagers et assimilés qui n'a pu être valorisée sous forme matière ou organique, dans des fours adaptés à leurs caractéristiques physico-chimiques.

Lorsque l'énergie dégagée par cette combustion est récupérée sous forme de chaleur et/ou d'électricité, on parle alors de valorisation énergétique. Selon la réglementation européenne, on ne parle de valorisation énergétique des déchets que lorsque cette récupération d'énergie (énergie valorisée par tonne de déchet traitée) dépasse un certain seuil appelé R1.

50 % de l'énergie produite à partir des déchets urbains sont considérés comme renouvelables, les 50 % restants étant qualifiés de récupération (article L 211-2 du code de l'énergie, en conformité avec la directive européenne 2018/2001 relative aux énergies renouvelables). Une étude²⁹ menée par la filière, co-financée par l'ADEME, a permis de mettre

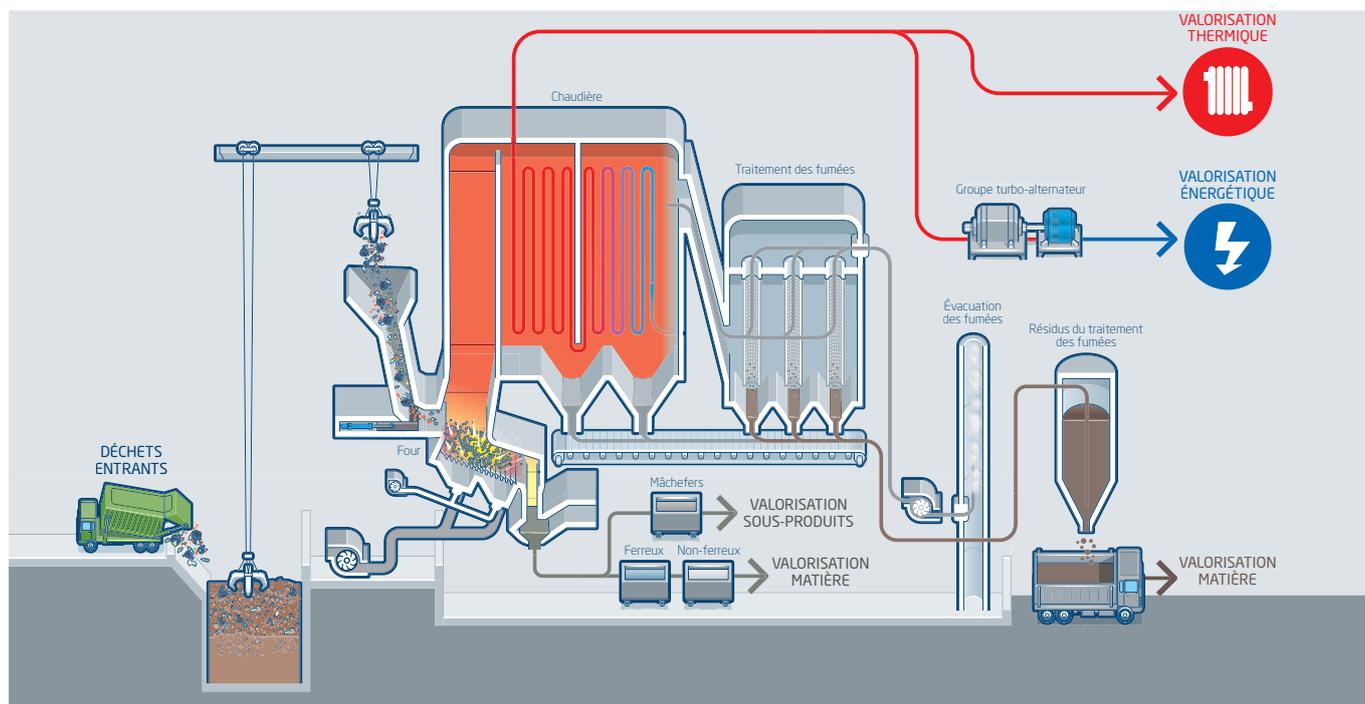
en exergue un taux d'énergie renouvelable supérieur - 55 % en moyenne - sur la base des mesures réalisées sur 10 usines traitant autour de 2,2 Mt d'ordures ménagères.

La valorisation énergétique des déchets ménagers non recyclables fait l'objet d'une surveillance et d'un encadrement par une réglementation draconienne. Cette dernière encadre notamment le traitement des fumées et des résidus de traitement et impose le respect strict de valeurs limites d'émissions très basses.

La récupération d'énergie issue de la combustion des déchets peut être valorisée sous trois formes :

- la récupération d'énergie sous forme de vapeur (ou d'eau chaude) avec production de chaleur seule pour alimenter un réseau de chauffage urbain ou des sites industriels ;
- la récupération d'énergie sous forme d'électricité ;
- la valorisation en cogénération avec production de chaleur et d'électricité.

Exemple d'usine avec récupération d'énergie sous forme de cogénération

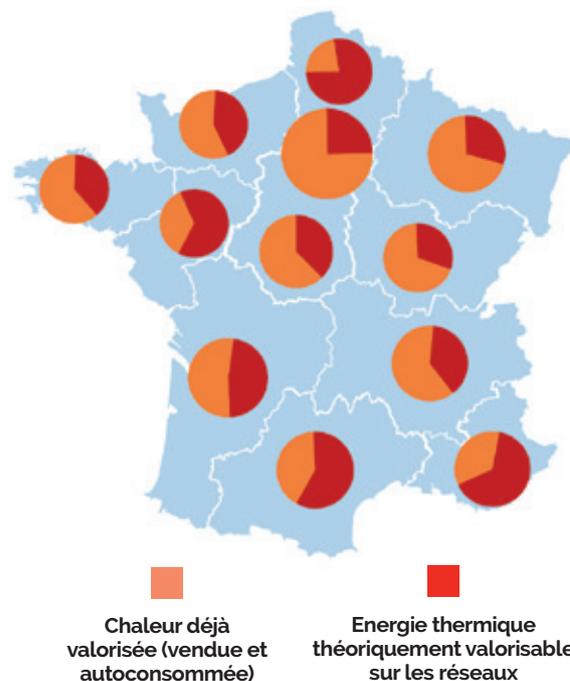


Source : TIRU, filiale du groupe Paprec Energies

29. Détermination des contenus biogène et fossile des ordures ménagères résiduelles et d'un CSR, à partir d'une analyse 14c du CO₂ des gaz de post-combustion - La librairie ADEME.

Fin 2021, 92 UVE sont raccordées à un ou plusieurs réseaux de chaleur sur le total des 116 installations traitant des déchets non dangereux sur le territoire métropolitain (source : FEDENE). Il reste donc un potentiel de création, d'extension ou de verdissement des réseaux de chaleur et de froid à proximité d'une quarantaine de sites non raccordés et de certains sites déjà raccordés.

Une étude menée par la filière a permis d'estimer le gisement de chaleur supplémentaire issue des unités de valorisation énergétique des déchets (UVE) qui pourrait être capté et valorisé dans les réseaux de chaleur et de froid : ce gisement a été évalué à 8 TWh/an à l'horizon 2030, à parc d'installations équivalent.



Source : SYZU - SNEE, 2020

La production d'énergie des UVE pourrait en effet être plus importante, grâce à une valorisation de la **chaleur fatale** non utilisée et au développement de la production de chaleur issue de la valorisation énergétique de combustibles solides de récupération (CSR). Ceci constitue un atout certain d'attractivité des territoires pour attirer des industriels et favoriser le développement des réseaux de chaleur ou de froid.

Au-delà des unités de valorisation énergétiques des déchets existantes pour les déchets ménagers résiduels et assimilés, les combustibles solides de récupération (CSR) constituent un mode de traitement des déchets plus vertueux que le stockage pour les déchets qui ne peuvent être recyclés. La création de **chaudières CSR** permettant de décarboner les mix de chaleur est une solution particulièrement adaptée pour des utilisateurs industriels. C'est pourquoi le Plan de relance de l'économie de 2020/2021 a mis en place un dispositif spécifique de soutien à la chaleur bas carbone industrielle, qui a permis d'accompagner les entreprises industrielles dans l'utilisation de sources de chaleur moins émettrices de CO₂, comme la biomasse ou les combustibles solides de récupération (CSR). Cette utilisation des CSR s'inscrit dans l'objectif d'accompagnement de la filière de traitement de déchets et des collectivités pour se conformer aux objectifs de la loi de Transition énergétique pour la croissance verte qui fixait un objectif de réduction de 50 % des apports en installation de stockage de déchets non dangereux en 2025. La valorisation des CSR offre en outre un exutoire contribuant à l'atteinte de 70 % de valorisation énergétique des déchets qui n'ont pas pu faire l'objet d'une valorisation matière (cf. Loi AGECC).

Focus sur le gisement des combustibles solides de récupération

Les combustibles solides de récupération (CSR) sont des déchets non recyclables tels que bois, plastiques, caoutchoucs, papiers, cartons ou tissus en mélange. Ils proviennent de refus de tri des déchets d'activités économiques (DAE), de refus de tri de collectes séparées des emballages, de déchets du bâtiment et d'encombrants de déchèteries non recyclables, ou encore de refus de compostage ou de méthanisation³⁰.

En 2021, 370 000 tonnes de CSR ont été consommées en France : 60 000 tonnes par des chaudières dédiées (près de 150 GWh) et 310 000 tonnes par l'industrie cimentière (source : SFIC – CSF Construction). Environ 70 000 tonnes de CSR ont été exportées auprès de cimenteries européennes faute de débouchés suffisants en France (source : FEDEREC).

On estime à 2,5 Mt le potentiel de production de CSR à horizon 2025 dont 1 Mt seront destinés à la décarbonation de l'industrie cimentière. Il est donc nécessaire de développer des capacités complémentaires permettant de traiter jusqu'à 1,5 Mt par an d'ici 2025 dans des chaudières dédiées CSR (source : Plan national déchets 2025, PPE et SVDU). A horizon 2030, le potentiel est estimé à 10 TWh (source CME).

6.3.2. Atouts

La valorisation énergétique des déchets non recyclables présente plusieurs avantages. Elle permet :

- de remplacer efficacement les énergies fossiles par une énergie renouvelable et de récupération à la maturité prouvée, et ce faisant, de renforcer l'indépendance énergétique et la décarbonation des territoires ;

Grâce à la valorisation énergétique des déchets, ce sont en moyenne 2,3 millions de tonnes d'émissions de CO₂ évitées chaque année³¹ en substitution aux énergies fossiles importées.

- de contribuer à des boucles d'économie circulaire, d'une part en valorisant énergétiquement des déchets qui n'ont pu trouver de débouchés sous forme matière ou organique, et d'autre part en valorisant les mâchefer en technique routière ;

- de contribuer au verdissement des réseaux de chaleur, aussi bien pour le chauffage que pour le refroidissement ;

- de décarboner l'énergie consommée par les industries calo-intensives, en substituant les énergies fossiles (charbon, gaz, pétrole) par des déchets non recyclables (CSR, bois B) ;

- de réduire la dépendance de la France vis-à-vis des énergies fossiles et de réduire son exposition aux variations des cours mondiaux de ces dernières ;

- de créer des emplois non délocalisables et à fort niveau de compétence technique.

La filière représente environ 4 500 ETP directs actuellement, avec une perspective de création d'emplois directs d'environ + 10 % sur les 5 prochaines années grâce au développement de la filière combustibles solides de récupération (CSR) et à la modernisation du parc des unités de valorisation énergétique (UVE).

30. ADEME, Déchets Chiffres-clés : L'essentiel 2018

31. Selon la méthodologie de l'ADEME, avec les hypothèses suivantes : un rendement énergétique des chaudières gaz de 90 % et un facteur d'émission du gaz naturel en combustion de 0,187 tCO₂/MWh PCI.

6.4. Exemple de réalisation

L'unité de valorisation énergétique (UVE) Arc-en-Ciel 2034 à Couëron (44)

Le site industriel Arc-en-Ciel 2034 à Couëron exploité par Véolia pour le compte de Nantes Métropole, comprend à la fois une unité de valorisation énergétique, un centre de tri et une unité de fabrication de combustibles solides de récupération (CSR) qui sont utilisés dans des cimenteries et alimentent des chaufferies dédiées chez des industriels.

Après le tri sélectif qui permet de séparer et conditionner les déchets recyclables triés par les ménages, les refus de tri sont envoyés à l'UVE pour être valorisés en énergie.

L'UVE comprend :

- Deux lignes d'incinération identiques, équipées chacune d'un four d'une capacité nominale de 7 t/h à PCI 2 000 kcal/kg.
- Des chaudières de récupération, d'une capacité unitaire de 18 t/h, produisent de la vapeur surchauffée à 350°C.
- Un dispositif de traitement des fumées.

La vapeur produite est valorisée par cogénération (électricité et chaleur). La chaleur ainsi produite alimente le site industriel voisin d'Arcelor Mittal ainsi que le réseau de chaleur urbain (RCU).



© Jérôme Sevyrette, Andia

Chiffres clés :

- 100 000 tonnes de déchets ménagers traités par an
- 75 000 MWh de chaleur produite (soit la consommation annuelle de 7 100 équivalents logements)
- 30 000 MWh d'électricité produite (soit la consommation annuelle de 1 900 foyers)

Focus sur la chaleur fatale³²

Alors que les industries sont confrontées à une crise historique du coût de l'électricité et du gaz, et doivent décarboner leur approvisionnement en énergie, la récupération de chaleur fatale peut apporter une solution. Toutes les conditions sont réunies pour la développer : le gisement est immense, des technologies de valorisation de cette chaleur fatale sont déjà commercialisées et de nouvelles émergent, et les soutiens publics sont importants.

Qu'est-ce que la chaleur fatale ?

Dans l'industrie, des activités de production génèrent des rejets d'énergie thermique à plus ou moins haute température, comme les fumées des fours et des chaudières, le séchage des produits. Les bâtiments tertiaires, hôpitaux et datacenters sont également concernés par cette déperdition thermique qui est appelée « chaleur perdue » ou « chaleur fatale », car elle est involontaire et inéluctable.

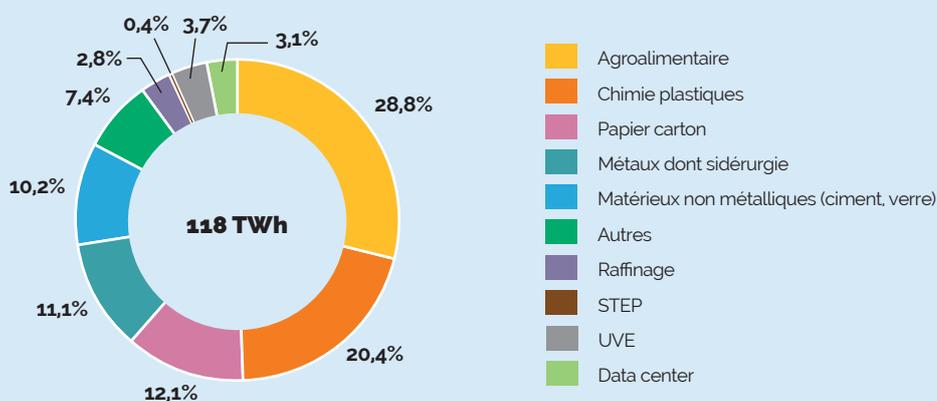
La récupération et la valorisation de la chaleur fatale est une solution efficace d'économies d'énergie et de réduction des émissions de GES : la chaleur récupérée peut être utilisée pour un usage interne ou pour un usage externe (via un réseau de chaleur).

Quel est le gisement ?

En France, le gisement de chaleur fatale a été estimé par une étude de l'ADEME en 2017.

Gisement de la chaleur fatale dans l'industrie, les STEP, les data center et les UVE

Source: ADEME, Faits et chiffres : la chaleur fatale, 2017



Tous process confondus, la chaleur fatale dans l'industrie représente près de 110 TWh dont un tiers dans l'agroalimentaire, un cinquième dans les industries de la chimie et du plastique, et une part de 11-13 % pour chacune des trois filières suivantes : matériaux non métalliques (ciment, verre), métaux (dont sidérurgie) et papier carton. Un plus petit gisement de 8 TWh est contenu dans les data centers, dans les stations de traitement des eaux usées (STEP) et dans les usines d'incinération des ordures ménagères (UVE). Il est notable que plus de la moitié du gisement dans l'industrie est à des températures inférieures à 100 °C. Cette source pourrait en partie être captée et réutilisée pour des usages simples (préchauffage d'un process, chauffage des locaux, eau chaude sanitaire, etc.) ou pour alimenter un réseau de chaleur urbain à proximité, en particulier si la température est supérieure à 60 °C. Mais même en dessous de 60 °C, l'utilisation de boucles tempérées avec rehausse de la température par des pompes à chaleur est tout à fait envisageable. L'intérêt est encore plus grand pour les 53 TWh du gisement présentant des températures supérieures à 100 °C.

DES EXEMPLES DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR FATALE

A Ugine en Savoie, l'usine d'Ugitech (fabrication d'acier inoxydable) a mis en place une récupération de la chaleur fatale par prélèvement dans les fumées. L'industriel fournit ainsi 4 500 à 5 000 MWh par an au réseau de chauffage urbain depuis novembre 2021. Par ce biais, la ville n'a quasiment plus besoin d'apport en gaz et évite l'émission de 1 100 tonnes de CO₂ par an. En retour, l'usine se connecte au réseau de chaleur pour le chauffage de ses bâtiments administratifs et économise 200 tCO₂/an en n'utilisant plus ses chaudières gaz. L'investissement de 1,7 million d'euros a été porté par la ville avec le soutien d'aides publiques.

Dans une des usines de Cristal Union (fabrication de sucre) sur le site de Sainte-Emilie dans la Somme, le séchage des pulpes de betteraves était fait par une centrale à charbon. Un projet est en cours pour récupérer de la vapeur d'eau surchauffée sur un autre process de l'usine afin de réaliser le séchage directement. Environ 40 000 tCO₂/an seront économisés, au prix néanmoins d'un investissement de 25 millions d'euros, largement subventionné dans le cadre du Plan de relance (Fonds de décarbonation) et des soutiens apportés par le Fonds Chaleur de l'ADEME et par les Certificats d'économies d'énergie.

32. Source : techniques-ingenieur.fr « Chaleur fatale : toujours plus à récupérer dans l'industrie » publié le 18 octobre 2022.



7. Les réseaux de chaleur et de froid : des vecteurs d'énergies renouvelables et de récupération dans les territoires

Ancrés au coeur des territoires, les réseaux de chaleur et de froid valorisent l'ensemble des énergies renouvelables et de récupération (ENR&R) locales pour répondre à des besoins locaux. Ils utilisent en tout premier lieu des EnR&R locales telles que la chaleur qui vient des unités de valorisation énergétique des déchets ménagers (UVE), de la géothermie, du bois-énergie, ou encore l'énergie du soleil avec le solaire thermique. De ce fait, les réseaux de chaleur et de froid sont des agrégateurs multi-énergies qui fournissent de la chaleur ou du froid bas carbone tout en contribuant efficacement à la lutte contre la précarité énergétique grâce à une tarification compétitive et stable sur la durée, notamment en raison du faible impact sur leurs tarifs des fluctuations des énergies fossiles.

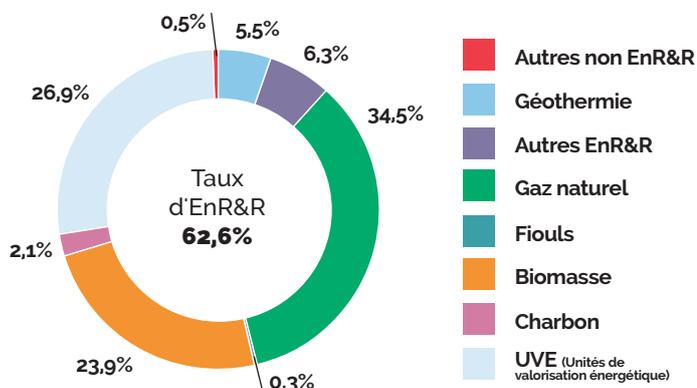
7.1. Caractéristiques et enjeux des réseaux de chaleur	48
7.2. Caractéristiques et enjeux des réseaux de froid	49
7.3. Caractéristiques et enjeux des boucles d'eau tempérée	50
7.4. Exemple de réalisation	50

7.1. Caractéristiques et enjeux des réseaux de chaleur

Les réseaux de chaleur distribuent de la chaleur sous forme d'eau chaude ou de vapeur d'eau via des canalisations installées sous les routes et qui alimentent un certain nombre de bâtiments, à un prix stable pour les usagers.

Bouquet énergétique des réseaux de chaleur en 2021.

Source : EARCF, édition 2022

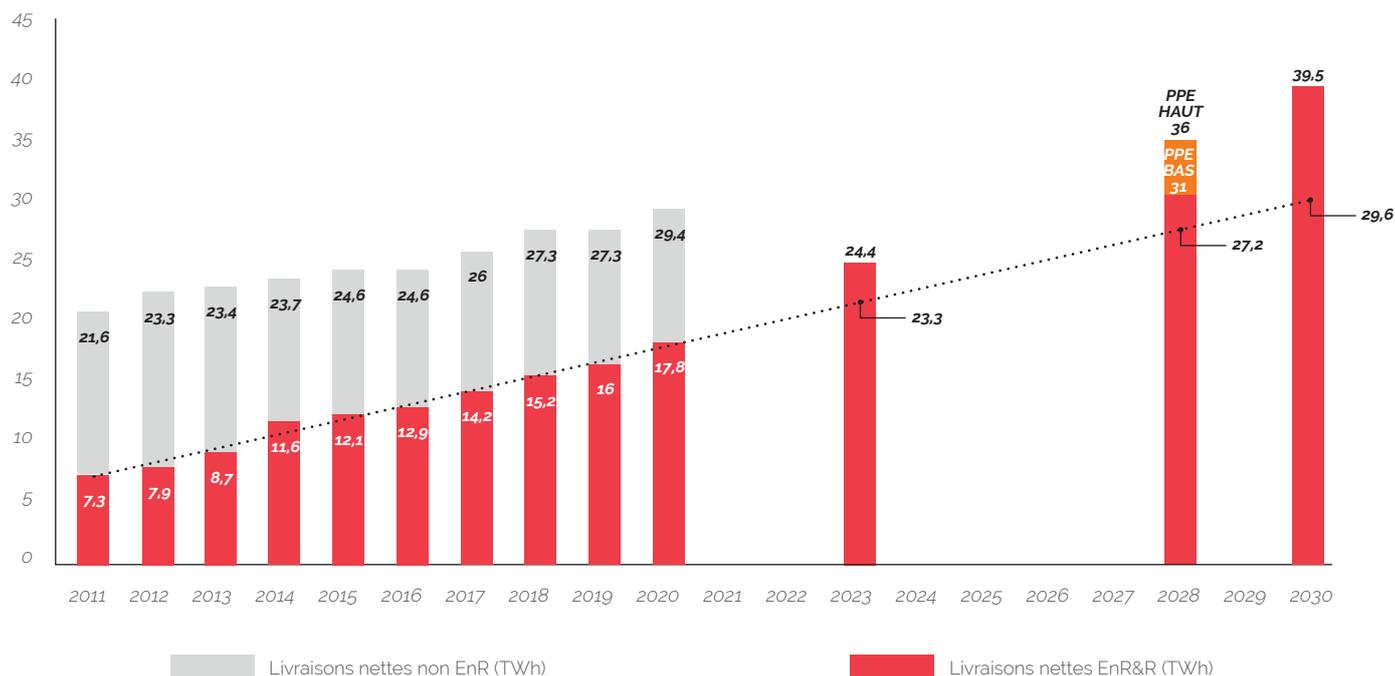


La France dispose de près de 900 réseaux de chaleur qui ont livrés en 2021 près de 30 TWh à 45 000 bâtiments. L'énergie livrée à ses bâtiments est composée à plus de 62 % d'énergies renouvelables et de récupération (EnR&R).

A horizon 2030, la LTECV fixe un objectif ambitieux aux réseaux de chaleur : livrer 39,5 TWh de chaleur issue d'EnR&R. En 2021, ces livraisons corrigées de la rigueur climatique ont atteint 17,5 TWh.³³

Évolution des livraisons nettes dans les réseaux de chaleur (avec correction climatique, rigueur -1, 70% des livraisons)

Source : EARCF, édition 2021



Les réseaux de chaleur devront donc être fortement développés, modernisés, étendus et densifiés au cours des prochaines années, en les orientant au maximum vers les énergies renouvelables et de récupération afin de contribuer aux objectifs nationaux de la transition énergétique.

VIA SEVA et MANERGY ont conduit une étude en partenariat avec le SNCU qui propose un Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur 2030 en listant précisément les villes à hauts potentiels dans lesquelles créer et étendre les réseaux vertueux pour livrer 39,5 TWh de chaleur ENR&R d'ici 2030, selon l'objectif inscrit dans la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV).

33. SNCU, Enquête annuelle des réseaux de chaleur et de froid, édition 2022, données 2021.

Comme la Cour des comptes³⁴, l'étude montre que les réseaux de chaleur offrent « une contribution efficace à la transition énergétique insuffisamment exploitée », puisque d'ici 2030 :

- 1 337 nouveaux réseaux pourraient livrer 13 TWh de chaleur EnR&R dans des centres urbains, soit 2 nouveaux réseaux de chaleur par département et par an ;

- 261 extensions – densifications de réseaux existants accroîtraient de 9,1 TWh les livraisons de chaleur verte ;

- 2,5 TWh de chaleur EnR&R seraient issus du verdissement soutenu des réseaux existants.

Pour accélérer le déploiement des réseaux de chaleur, l'outil principal demeure le Fonds Chaleur géré par l'ADEME. En juillet 2022, le Ministère de la Transition énergétique a mis en place un « Coup de pouce chauffage » pour les bâtiments résidentiels collectifs et tertiaires : les certificats d'économies d'énergie (CEE) « raccordement à un réseau de chaleur » sont bonifiés pour réduire au maximum les frais de raccordement. En période de crise énergétique, ce dispositif doit faciliter le raccordement des bâtiments chauffés via des énergies fossiles aux réseaux de chaleur vertueux (> 50 % EnR&R). (voir le chapitre « Cadre de développement »).

7.2. Caractéristiques et enjeux des réseaux de froid

Sous l'effet de la combinaison de divers facteurs : réchauffement climatique, isolation des bâtiments qui rend nécessaire l'évacuation de la chaleur accumulée par l'activité humaine en été, développements informatiques, nouvelles solutions de rafraîchissement et de climatisation à des coûts abordables ..., nous assistons depuis quelques années à un accroissement rapide et accéléré de la climatisation. Traditionnellement cantonnée dans notre pays à la couverture des besoins de base des bâtiments tertiaires (bureaux, centres informatiques, santé, etc.), à la déshumidification en hiver ainsi qu'à l'évacuation de la chaleur et le rafraîchissement des lieux de travail en été, cette évolution répond de plus en plus à des besoins de confort. Ce « confort » a toutefois une composante sanitaire majeure, notamment pour les personnes âgées et vulnérables particulièrement menacées par les pics de chaleur (15 000 à 19 000 décès en 2003).

Un réseau de froid est une infrastructure locale permettant de produire et de livrer du froid aux pieds des immeubles grâce à un réseau transportant un fluide frigoporteur (en général de l'eau) dont la température varie entre 1 et 12 °C. Certains réseaux fonctionnent directement grâce à la fraîcheur de l'eau ou de l'air ambiant ou font appel à d'autres sources renouvelables (géothermie marine, chaleur de récupération, etc).

En 2021, 88% des livraisons de froid étaient destinées au rafraîchissement de bâtiment tertiaires comme des bureaux, des hôpitaux, des universités, des aéroports et, de façon marginale, au rafraîchissement des immeubles d'habitation.

Le développement des réseaux de froid répond à un enjeu sanitaire majeur, la lutte contre les îlots de chaleur urbains, dans le contexte du changement climatique et d'accroissement des épisodes caniculaires. Il répond également à un enjeu environnemental en permettant la diminution des émissions de gaz à effet de serre et des fluides frigorigènes utilisés par des équipements individuels d'air conditionné.

En France, on estime aujourd'hui les besoins de froid à 19 TWh dont 0,8 TWh est fourni par 35 réseaux de froid existants³⁵. La PPE prévoit un objectif de multiplication par 3 des quantités de froid distribuées par réseau à horizon 2030.

A ce jour, l'alimentation des réseaux de froid par des EnR&R n'est pas connue : les EnR&R froides ne sont pas définitivement définies au niveau européen. Fin 2021, la Commission Européenne a adopté, un Acte Délégué relatif à la méthodologie de comptabilisation du froid renouvelable. L'article 3.6 de l'Acte Délégué permet aux États Membres d'ajuster au niveau national leurs estimations de SPF « fondées sur des hypothèses précises et des échantillons représentatifs de taille suffisante, de façon à obtenir une estimation sensiblement meilleure de l'énergie renouvelable produite que celle obtenue à l'aide de la méthode établie dans le présent acte délégué.³⁶» Le SNCU et la DGEC travaillent en étroite collaboration pour proposer un tel ajustement à la Commission Européenne.

34. Cour des comptes, Le chauffage urbain : une contribution efficace à la transition énergétique insuffisamment exploitée, septembre 2021.

35. FEDENE, VADE MECUM, Décarbonons les territoires, vite ! janvier 2022.

36. Article 3.6 de l'ANNEXE du règlement délégué de la Commission modifiant l'annexe VII de la directive (UE) 2018/2001 en ce qui concerne une méthode de calcul de la quantité d'énergie renouvelable utilisée pour le refroidissement et le réseau de froid.

7.3. Caractéristiques et enjeux des boucles d'eau tempérée

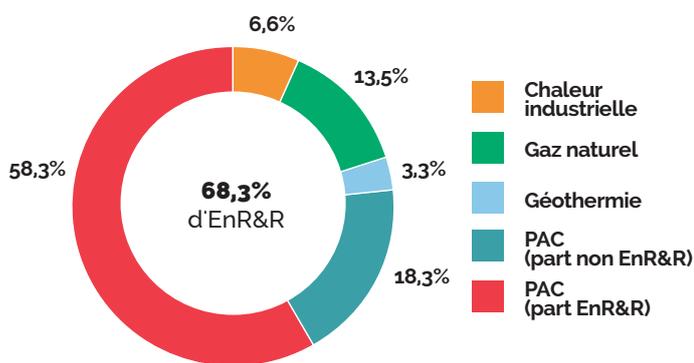
Une boucle d'eau tempérée (BET) est un réseau faisant circuler de l'eau tempérée ou un fluide calo-frigo-porteur généralement entre 5° C et 30° C, voire de -3° C à 40° C, permettant, selon les opportunités, de fournir de la chaleur et du froid. La boucle d'eau tempérée permet de mobiliser des sources d'énergie diffuses et/ou à basses température.

C'est un dispositif de production et d'équilibrage centralisé d'énergies, couplé à un réseau de distribution qui vient satisfaire des besoins de chaud et de froid de clients raccordés. Elle est composée de 3 parties :

- La production d'équilibrage centralisée
- Les réseaux de distribution via une boucle tempérée
- La production de chaleur et de froid décentralisée (constituée d'une ou plusieurs PAC et/ou TFP).

Mix énergétique des BET

Source : EARCF, édition 2022



La BET nécessite le recours d'un opérateur unique pour assurer le fonctionnement des parties de production d'équilibrage centralisée et les réseaux de distribution, intégrant ou pas la production décentralisée. Lorsque la production décentralisée est incluse dans le périmètre de l'opérateur, on parle alors de boucle complète, à l'inverse, on parle de boucle simple.

En 2021, l'enquête annuelle des réseaux de chaleur et de froid comptait 7 BET, dont 6 livraient simultanément de la chaleur et du froid (livraisons chaleur = 1 TWh ; livraisons froid = 1,5 TWh).

Les livraisons des BET sont principalement destinées aux bâtiments tertiaires (76,6 %) puis aux bâtiments résidentiels (23,4 %). Le taux EnR&R des livraisons de chaleur avoisine les 70 % d'EnR&R.

7.4. Exemple de réalisation

Le réseau de chaleur et de froid à Marseille (13)

À Marseille, en partenariat avec Euroméditerranée, ENGIE Solutions déploie en 2016 le premier réseau de chaleur et de froid à partir de l'énergie marine : la centrale Thassalia de thalassothermie, dans le Grand Port Maritime de Marseille, puise à 7 mètres de profondeur de l'eau de mer à 12 °C l'hiver et à 20 °C l'été, puis la rejette dans le port avec un différentiel de 5 °C. Cette eau est refroidie à 5 °C pour alimenter les systèmes de climatisation. La chaleur dégagée par cette opération est utilisée pour chauffer l'eau à 60 °C, afin d'alimenter un réseau de chaleur parallèle. Des sous-stations d'échange et de régulation, équipées d'un système intelligent de relevé des consommations, sont installées dans chaque bâtiment raccordé pour assurer la livraison de l'énergie nécessaire.

La centrale a nécessité un investissement de 35 millions d'euros, dont 7 millions d'aides de l'Ademe, de collectivités locales et de l'Europe.

Ce projet permet de faire bénéficier aux bâtiments raccordés d'un taux d'énergie renouvelable supérieur à 75 % avec des coûts compétitifs et stables dans la durée.



© Antoine Meyssonner

Chiffres clés :

- Puissance totale de 20 MW en froid et 20 MW en chaud
- Longueur des réseaux : 3,5 km de canalisations
- Alimentation d'un quartier de 500 000 m²
- Emissions évitées : 1 500 tonnes de CO₂ par an par rapport à une solution au gaz

8. Cadre de développement

8.1. Objectifs LTECV et PPE

51

8.2. Cadre économique

52

8.1 Objectifs LTECV et PPE

La loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) de 2015 prévoit de faire passer la part de chaleur renouvelable dans la consommation finale de chaleur de 20 % en 2016 à 38 % en 2030.

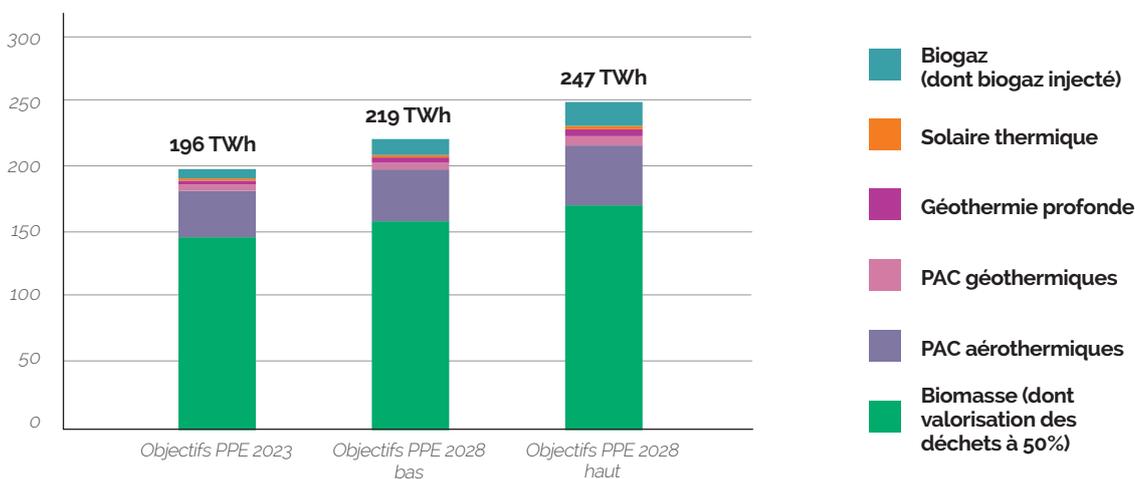
Les Programmations Pluriannuelles de l'Énergie (PPE), outils de pilotage de la politique énergétique nationale, ont été créées par la LTECV. La PPE de métropole continentale est élaborée par le Gouvernement tandis que les PPE des zones non interconnectées (Corse et outre-mer) sont co-élaborées avec les collectivités territoriales.

L'un des enjeux prioritaires des PPE est de réduire la consommation d'énergies fossiles et d'augmenter significativement la production de chaleur renouvelable dans le mix énergétique.

Pour ce qui concerne la métropole continentale, la PPE actuelle prévoit une augmentation de 26 % de la production de chaleur renouvelable entre 2023 et 2028 (scénario haut).

Les objectifs de production de chaleur renouvelable par filière dans la PPE de métropole continentale 2023-2028 (en TWh)

Source : SER



Production (en TWh)	Objectif PPE 2023	Objectif PPE 2028 bas	Objectif PPE 2028 haut
Biomasse (dont valorisation des déchets à 50%)	145	157	169
PAC aérothermiques	35	39	45
PAC géothermiques	4,6	5	7
Géothermie profonde	2,9	4	5,2
Solaire thermique	1,75	1,85	2,5
Biogaz (dont biogaz injecté)	7	12	18
Total	196	219	247

8.2 Cadre économique

8.2.1 Dispositifs de soutien pour les entreprises et les collectivités

Le Fonds Chaleur

Destiné à l'habitat collectif, au tertiaire, à l'agriculture et à l'industrie, le Fonds Chaleur, mis en place en 2009, est géré par l'Agence de la transition écologique (ADEME).

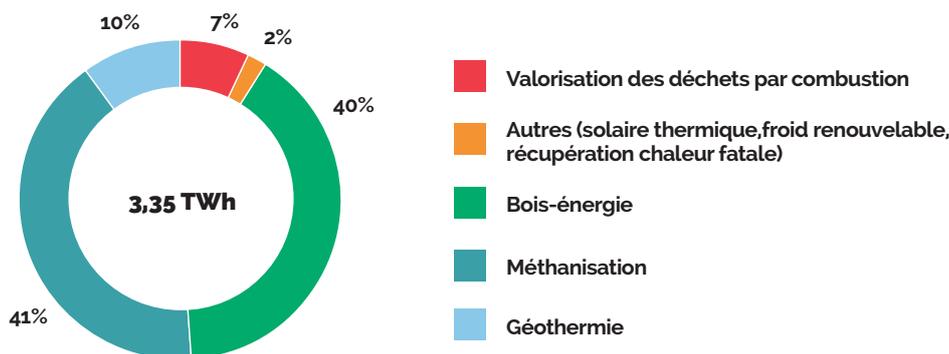
L'ADEME apporte son expertise aux porteurs de projets et attribue des aides (études de faisabilité, aides à l'animation, aides à l'investissement, etc.) pour développer les énergies renouvelables ou de récupération (EnR&R) ainsi que les réseaux de chaleur et de froid qui permettent de les distribuer dans les territoires.

En 2021, le Fonds Chaleur a permis la production de 3,35 TWh grâce à un budget de 301 millions d'euros d'aides aux investissements dans les énergies renouvelables et de récupération.

En 2021, 81 % de la production d'EnR&R aidée par la Fonds Chaleur provient de la biomasse (41 % de la méthanisation et 40 % du bois-énergie), 10 % de la géothermie, 7 % de la valorisation des déchets par combustion, 2 % d'autres sources (récupération de chaleur fatale, froid renouvelable, solaire thermique).

Répartition des TWh EnR&R par filière soutenues par les Fonds Chaleur en 2021

Source : ADEME



Depuis sa création, le Fonds Chaleur a donné un puissant coup d'accélérateur aux énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) : doté de 2,9 milliards d'euros sur la période 2009-2021, le Fonds Chaleur a permis d'aider plus de 6 500 installations représentant 10,8 milliards d'euros d'investissements et totalisant une capacité de production additionnelle de près de 39 TWh d'EnR&R cumulée.

La performance du Fonds Chaleur (en termes d'euro public dépensé par tonne de CO₂ évitée) est largement reconnue notamment par la Cour des comptes³⁷.

Taux réduit de TVA à la chaleur livrée pour les réseaux vertueux

Les réseaux de chaleur utilisant au moins 50 % d'EnR&R permettent à leurs abonnés de bénéficier d'un taux de TVA de 5,5 % dans leur facture (abonnement et fourniture d'énergie).

³⁷. Communication de la Cour des comptes à la commission des finances du Sénat, Le soutien aux énergies renouvelables, mars 2018.

Les certificats d'économie d'énergie (CEE)

Le dispositif des CEE constitue l'un des principaux instruments de la politique de maîtrise de la demande énergétique. Depuis 2006, l'État oblige les vendeurs d'énergie (électricité, gaz, carburant, etc.) à réaliser des économies d'énergie auprès des consommateurs (ménages, professionnels, etc.). Un objectif pluriannuel est défini pour chaque opérateur. En fin de période, les obligés ne justifiant pas de l'accomplissement de leurs obligations par la détention du montant de CEE adéquat sont pénalisés financièrement. Les CEE sont générés par la mise en place ou le financement d'actions d'économie d'énergie par les obligés. Ces derniers peuvent acheter et vendre des CEE sur un marché d'échange pour compléter leurs obligations. Dans la pratique les entreprises qui valorisent ces CEE, les affichent auprès du client final sous forme d'une « prime énergie ».

Le « coup de pouce chauffage » est une bonification de cette « prime énergie » lors du remplacement du système de chauffage ou d'eau chaude sanitaire à énergie fossile d'un bâtiment résidentiel collectif ou tertiaire (chaudière à charbon, fioul, gaz, hors condensation), par un raccordement à un réseau de chaleur majoritairement à énergie renouvelable. En cas d'impossibilité de raccordement, le coup de pouce peut s'appliquer à la mise en place d'autres systèmes de chauffage renouvelable (pompes à chaleur et chaudières biomasse).

La Contribution Climat Énergie (CCE)

La Contribution Climat Énergie (CCE) a été instaurée par la loi de finances 2014. Il s'agit d'une mesure fiscale qui intègre une composante carbone dans les taxes intérieures de consommation sur les produits énergétiques. L'impact pour chacune des énergies fossiles est différent selon leur contenu en carbone. Il s'agit d'une contribution car, contrairement à une taxe, l'intégralité des recettes de ce prélèvement est affectée à des usages déterminés à l'avance, en l'occurrence le financement du Crédit d'Impôt pour la Compétitivité et l'Emploi et les énergies renouvelables, entre autres.

Le taux de la composante carbone a progressivement augmenté, soit 7 €/tCO₂ en 2014, 14,5 €/tCO₂ en 2015, 22 €/tCO₂ en 2016, 30,5 €/tCO₂ en 2017. La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) a fixé une cible à 100 €/tCO₂ en 2030. La loi de finances rectificative pour 2015 puis la loi de finances pour 2018 ont ainsi prévu la prolongation de la trajectoire initiale pour atteindre cet objectif en fixant un taux à 44,6 €/tCO₂ pour 2018. A la suite du mouvement social de l'automne 2018, le Gouvernement a décidé de préserver le pouvoir d'achat de ménages en gelant les taux d'accises sur les énergies aux niveaux de 2018.

Aides des collectivités locales

Certaines régions et départements peuvent accorder des aides complémentaires aux aides nationales.

Le Fonds Européen de Développement Économique Régional (FEDER)

Le FEDER intervient dans le cadre de la politique européenne de cohésion économique, sociale et territoriale, notamment pour soutenir la transition vers une économie à faibles émissions de carbone et l'adaptation au changement climatique. Dans le cadre de la programmation pour 2021-2027 du budget de l'UE, 9,1 milliards d'euros du FEDER sont attribués à la France. Depuis la loi de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles du 27 janvier 2014, dite MAPTAM, les Régions gèrent presque totalement le FEDER.

8.2.2 Dispositifs de soutien pour les particuliers

MaPrimeRénov'

MaPrimeRénov' est une aide à la rénovation énergétique proposée par FranceRénov'. Dans le cadre du plan de résilience 2022, MaPrimeRénov' a été revalorisée pour encourager les énergies renouvelables et réduire la dépendance au gaz et au fioul.

Cette aide s'adresse aux propriétaires occupants, propriétaires bailleurs et syndicats de copropriété. Le montant de la prime est déterminé en fonction des ressources du foyer fiscal et du gain écologique des travaux. Pour les ménages les plus aisés, la prime est conditionnée à la mise en place d'une rénovation globale incluant plusieurs travaux. La prime peut être cumulée avec d'autres aides comme les certificats d'économie d'énergie, les aides des collectivités territoriales, celles d'Action Logement et le taux réduit de TVA.

Les travaux doivent être obligatoirement réalisés par une entreprise labellisée RGE (Reconnue Garante pour l'Environnement).

Le taux réduit de TVA à 5,5 %

Il s'applique directement aux travaux visant l'installation (incluant la pose, la dépose et la mise en décharge des ouvrages, produits ou équipements existants) de matériaux et d'équipements de chauffage renouvelable éligibles, sous réserve du respect des mêmes critères techniques et de performances que pour MaPrimeRénov' dans un logement de plus de deux ans. Le taux réduit s'applique aussi aux travaux induits indissociablement liés à la réalisation de ces travaux, qui sont définis dans l'instruction fiscale BOI-TVALIQ-30-20-95. Pour les autres travaux de rénovation, le taux réduit appliqué est de 10 %.

Le coup de pouce chauffage

Il s'agit d'une aide, octroyée dans le cadre du dispositif CEE jusqu'en 2024, pour le remplacement de chaudières fossiles au charbon, au fioul ou au gaz autre qu'à condensation par un équipement de chauffage renouvelable (chaudière biomasse, appareil de chauffage au bois, pompe à chaleur géothermique, aérothermique ou hybride, système à chaleur solaire ou raccordement à un réseau de chaleur). Le montant de l'aide varie de 450 € à 4 000 € et dépend de l'équipement de remplacement ainsi que des ressources du ménage.

Aides des collectivités territoriales

Certaines régions, certains départements, des intercommunalités, des communes peuvent accorder des aides complémentaires aux aides nationales pour l'amélioration de la performance énergétique d'équipements d'énergies renouvelables. C'est notamment le cas pour le Fonds Air. L'aide du Fonds Air est proposée par certaines collectivités, en collaboration avec l'ADEME, pour limiter la pollution sur les territoires exposés à des dépassements des valeurs limites de particules fines et dans lesquels une part significative de cette pollution est issue du chauffage au bois.

Pour bénéficier de cette aide, les ménages doivent remplacer un appareil non performant de chauffage au bois par un équipement très performant en termes de rendement énergétique et de limitation des émissions de particules fines. Ces appareils performants doivent être labellisés Flamme Verte ou être enregistrés dans le registre de l'ADEME des appareils équivalents.

L'exonération de taxe foncière

Certaines collectivités locales proposent, de manière temporaire, une exonération partielle ou totale de la taxe foncière sur les propriétés bâties (TFPB) pour les logements qui font l'objet, par le propriétaire, de dépenses d'équipement pour réaliser des économies d'énergie.

L'éco-prêt à taux zéro

Il s'agit d'un prêt à 0 %, accessible sans conditions de ressources, pour financer un ou plusieurs travaux d'amélioration de la performance énergétique pour un logement principal achevé avant 1990. L'éco-prêt à taux zéro est distribué par les établissements de crédit ayant conclu une convention avec l'État. La banque apprécie sous sa propre responsabilité la solvabilité et les garanties de remboursement présentées par l'emprunteur. L'éco-prêt est cumulable avec les autres aides sans conditions de ressources. Le montant maximum du prêt est de 30 000 € remboursable sur 10 ans voir 15 ans.

Autres prêts

Il existe un certain nombre de prêts liés à des travaux de performance énergétique : les prêts 1 % d'Action logement, les prêts de la Caisse des Dépôts et Consignation aux organismes Habitations à Loyer Modéré (HLM) et aux Sociétés d'Économie Mixte (SEM).



L'Agence de la transition écologique (ADEME) participe à la mise en oeuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide au financement de projets, de la recherche à la mise en oeuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire. L'ADEME est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) placé sous la tutelle des ministères de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, de la Transition énergétique et de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

www.ademe.fr



L'association française des professionnels de la géothermie (AFPG) regroupe des installateurs de chauffage et de climatisation, des bureaux d'études thermiques, des bureaux d'études de géosciences, des entreprises de forage, des exploitants et les promoteurs des réseaux de chaleur, les acteurs manufacturiers de la filière géothermie et électricité. Des associations partenaires : AFPAC, ATEE, Syndicat des Foreurs d'Eau et de Géothermie (SFEG), le Syndicat des énergies renouvelables (SER) et les pôles de compétitivité en géosciences (Avénia, S2E2) sont également des membres actifs et font partie du conseil d'administration.

www.afpg.asso.fr



Le Comité Interprofessionnel du Bois Énergie (CIBE) rassemble les acteurs du chauffage collectif et industriel au bois, soit plus de 150 entreprises, maîtres d'ouvrage (publics et privés), organisations professionnelles dans la filière bois et le monde de l'énergie. Le CIBE coordonne et accompagne ces acteurs depuis 2006 pour professionnaliser les pratiques, établir les règles de l'art, former les professionnels et promouvoir les chaufferies de fortes à faibles puissances auprès des décideurs publics et privés.

www.cibe.fr



La Fédération des Services Énergie Environnement (FEDENE) regroupe sept syndicats professionnels spécialisés par métier, 500 entreprises de services centrés sur l'efficacité énergétique, la performance des bâtiments, la production et la valorisation de la chaleur et de froid renouvelables et de récupération ainsi que le Facility Management et l'ingénierie de projets. Le chiffre d'affaires du secteur s'élève à 11 milliards d'euros, dont la moitié est réalisée en France par des entreprises de toute taille.

Le SNCU, Syndicat national du chauffage urbain et de la climatisation urbaine, membre de la FEDENE regroupe les gestionnaires publics ou privés de réseaux de chaleur et de froid.

Le SVDU, Syndicat National du Traitement et de la Valorisation des Déchets Urbains et assimilés, membre de la FEDENE, regroupe les principaux opérateurs de la valorisation énergétique des déchets ménagers en France (incinération, méthanisation, gazéification).

www.fedene.fr



Le Syndicat des énergies renouvelables (SER) représente 450 entreprises adhérentes dont 2/3 de PME et ETI. Elle est l'organisation professionnelle qui rassemble les acteurs de l'ensemble des filières d'énergies renouvelables et récupération (EnRetR) sur l'intégralité de la chaîne de valeur : bois-énergie, biocarburants, éolien, énergies marines, gaz renouvelables, géothermie et pompes à chaleur, hydroélectricité, solaire et valorisation énergétique des déchets. Le SER a pour missions d'accroître la part des EnRetR dans la production énergétique de la France en promouvant les intérêts des industriels et professionnels du secteur, participer activement à l'élaboration des textes législatifs et réglementaires, développer et promouvoir des labels et certifications de qualité tels que le label du chauffage au bois Flamme Verte et promouvoir le savoir-faire français en matière d'EnRetR à l'international et collaborer avec les gouvernements étrangers pour les assister dans leur transition énergétique.

www.enr.fr



UNICLIMA est le syndicat professionnel des industries thermiques, aérauliques et frigorifiques. Il rassemble 83 sociétés ou groupes qui réalisent un chiffre d'affaires de 10,2 milliards d'euros, dont 2,8 à l'export, pour 24 000 emplois en France. UNICLIMA représente les fabricants d'équipements de chaleur, y compris de chaleur renouvelable, de froid et de qualité de l'air. Ces matériels trouvent leurs applications dans les bâtiments résidentiels, tertiaires, ainsi que dans les bâtiments et process industriels.

www.uniclimate.fr

Ont contribué à cette édition :

ADEME : les Services Forêt Alimentation et Bioéconomie (SFAB), Réseaux et Énergies Renouvelables (SRER) et Industries

AFPG : Virginie SCHMIDLE-BLOCH, Jean-Jacques GRAFF

CIBE : Elodie PAYEN, Damien CHAGNAUD

FEDENE : Bérengère FORCET, Hugo BELIN

SER : Valérie WEBER-HADDAD, Priscille MARQUES, Robin APOLIT, Axel RICHARD, Quitterie VINCENT

UNICLIMA : Valérie LAPLAGNE

ADEME 27 rue Louis Vicat - 75015 Paris / www.ademe.fr

AFPG 77 rue Claude Bernard - 75005 Paris / www.afpg.asso.fr

CIBE 28 rue de la pépinière - 75008 PARIS / www.cibe.fr

FEDENE 28 rue de la pépinière - 75008 PARIS / www.fedene.fr

SER 40-42 rue La Boétie - 75008 Paris / www.enr.fr

UNICLIMA 11-17 rue de l'Amiral Hamelin - 75116 Paris / www.uniclima.fr

La responsabilité de l'ADEME, de l'AFPG, du CIBE, de la FEDENE, du SER et d'UNICLIMA ne saurait être engagée pour les dommages de toute nature, directs ou indirects, résultant de l'utilisation ou de l'exploitation des données et informations contenues dans le présent document, et notamment toute perte d'exploitation, perte financière ou commerciale.
Impression sur papier issu de forêts gérées durablement.