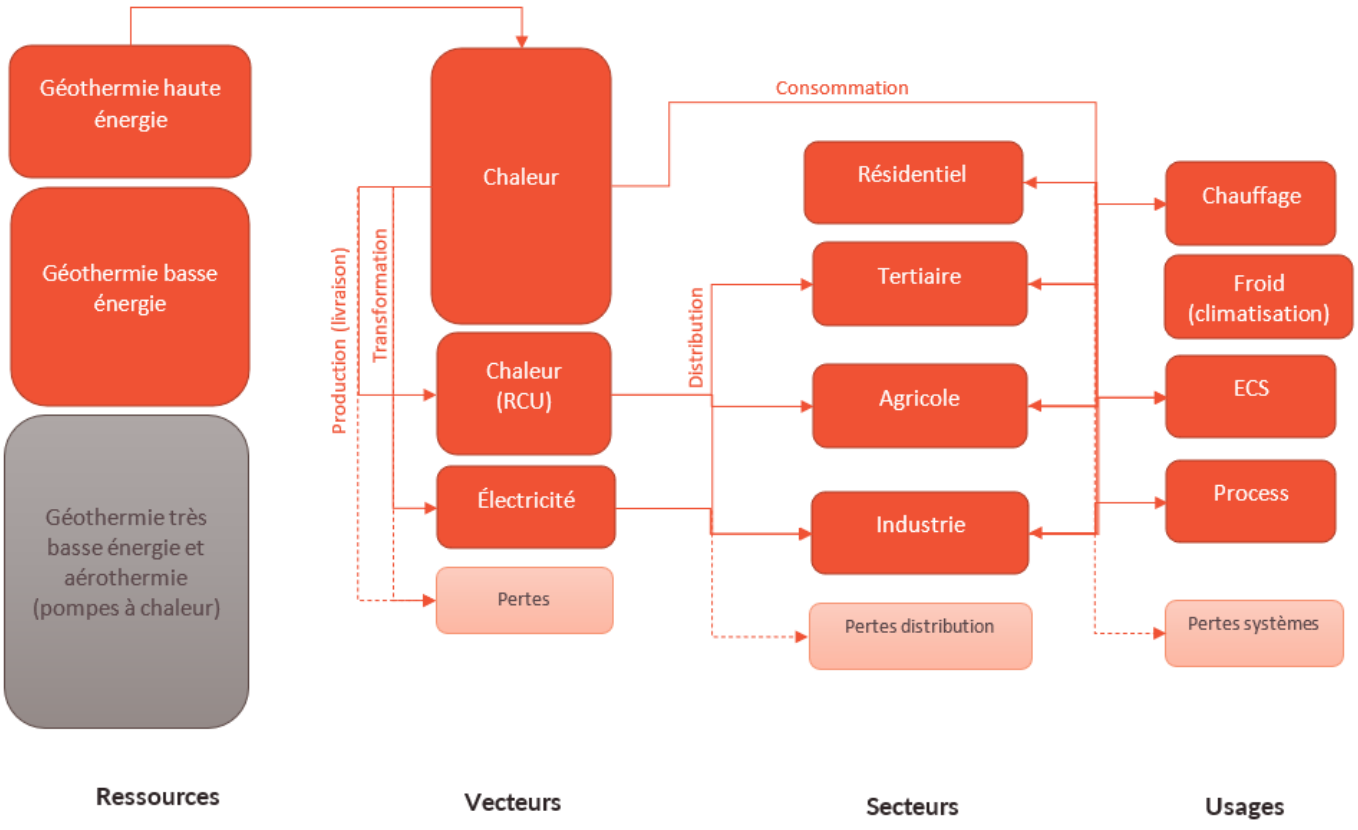
# 1.1.03_Géothermie, aérothermie et PAC


- Présentation générale de la filière
- Approche(s) méthodologique(s) de référence(s)
- Production des indicateurs territoriaux de la filière

# Présentation générale de la filière

Représentant, de fait, plusieurs filières ou sous filières selon l'axe d'analyse ou de comptabilité choisi, la présente thématique comprend, en matière d'observation un sous ensemble particulier caractérisé à la fois par la nature des ressources énergétiques valorisée (les calories présentes dans le milieu naturel) et un ensemble de technologie de valorisation, dont l'une d'entre elle est très majoritairement employée, la pompe à chaleur (PAC).

## Sankey




Source : RARE

# Les pompes à chaleur

Une PAC est un système thermodynamique qui permet de prélever de la chaleur d'un milieu donné à bas niveau de température, pour la transférer vers un autre milieu à un niveau de température plus élevé. Pour assurer ce transfert de chaleur, les PAC consomment de l'énergie, sous forme

électrique dans plus de 95% des cas en France (l'alternative étant un fonctionnement au gaz). Contrairement à un échangeur, qui permet de réchauffer une source froide à partir d'une source chaude, la pompe à chaleur réchauffe une source en prélevant de la chaleur sur une seconde source, qui va ainsi refroidir.

**Typologie des pompes à chaleur**

| | |
|---|---|
| **Géothermiques** | la chaleur est puisée dans le sol : sol / eau, sol / sol, eau glycolée / eau (2 circule dans un forage vertical ou horizontal sous le jardin) |
| **Hydrothermiques** | la chaleur est puisée dans une nappe phréatique ou une rivière : eau / ea |
| **Aérothermiques** | la chaleur est puisée dans l'air |
| ***air / eau*** | *en sortie, l'eau alimente des radiateurs ou un plancher chauffant* |
| ***air / air multisplit*** | *en sortie, de l'air à travers des ventilo-convecteurs. Multisplit : plusieurs li* |
| ***air / air monosplit*** | *monosplit : une seule liaison (entre 1 bloc extérieur et 1 unité intérieure), donc une seule pièce desservie. Les PAC air/air appelées bi-blocs sont bien des PAC monosplits.* |
| ***air / air monobloc*** | *un seul bloc, avec un tuyau puisant l'air extérieur. Non suivies, ces PAC servent généralement pour la climatisation* |
| ***air extrait / air ou eau*** | *l'air est puisé à l'intérieur de la maison (sortie d'aération, air du garage,…* |
| **CET** | chauffe-eau thermodynamique, PAC produisant de l'eau chaude sanitaire |
| **PAC double service** | PAC produisant à la fois pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire |
| **PAC hybride** | PAC couplée à une chaudière (chaudière gaz à condensation,…) |

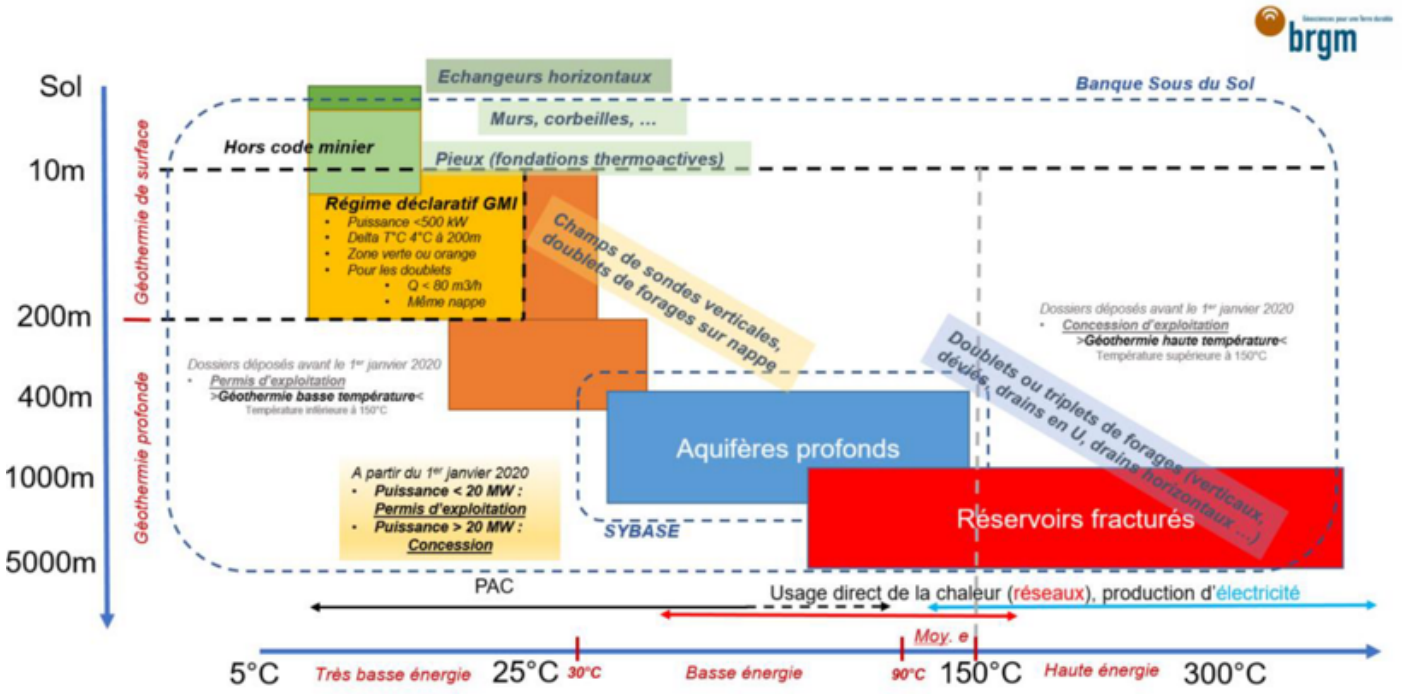
*source : SDES, extrait du rapport méthodologie du bilan énergétique de la France, janvier 2022*

# La géothermie

La géothermie de surface (encore appelée géothermie très basse énergie) recouvre l'ensemble des techniques développées pour valoriser l'énergie du proche sous-sol, c'est à dire peu profond (< 200 mètres). Aux profondeurs considérées pour la géothermie de surface, la température moyenne de l'eau ou du sous-sol est de l'ordre de 8 °C à 18 °C (Figure 1) ; la chaleur prélevée nécessite donc, pour être valorisée, que son niveau de température soit relevé, d'où l'emploi d'une PAC.

Par opposition, la géothermie profonde se réalise quant à elle, à une profondeur supérieure à plusieurs centaines de mètres. Elle englobe toutes les opérations de géothermie dont le prélèvement d'énergie, la ressource géothermale présente dans les aquifères, produit majoritairement de la chaleur, distribuée sous forme de réseaux et/ou permet une production d'électricité.

Représentation schématique selon la profondeur et la température, articulation des différentes techniques de géothermies (de surface et profonde), leur cadre réglementaire et termes d'usage.



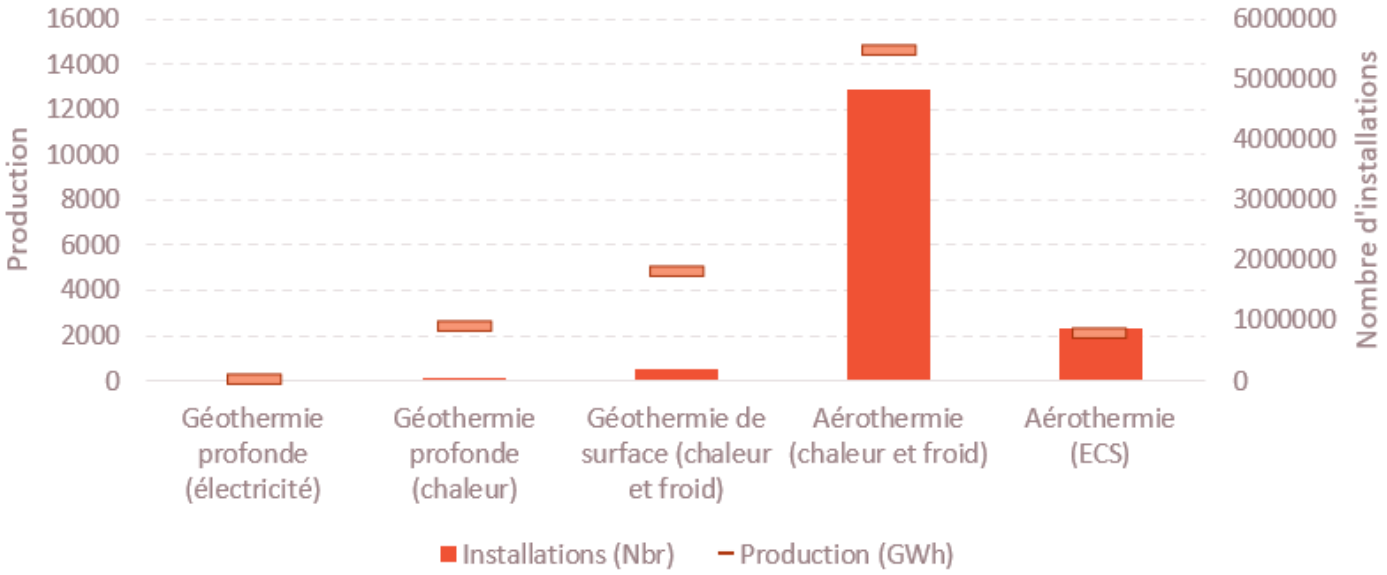

*Source : BRGM/RP-71729-FR, extrait du rapport final de l'observatoire dynamique de la géothermie de surface, Mai 2022*

# Repères

A l'échelle nationale, le SDES estime que la géothermie et les pompes à chaleur représentent en 2020 respectivement 2% et 10% de la production primaire d'énergie renouvelable.

Plusieurs organismes suivent le développement des différentes sous filières : l'AFPAC (pompes à chaleur), l'AFPG et le BRGM (géothermie), Observ'ER (ventes). Tous s'accordent sur les difficultés de suivi des sous filières majoritaires : l'aérothermie (95% des installations pour 70% de la production environ) et la géothermie de surface (3% des installations pour 20% de la production environ).

**Représentation des différentes sous filières à l'échelle nationale en 2021**




*Source : RARE, Chiffres compilés et croisés issus des représentants des filières considérée*

# Approche(s) méthodologique(s) de référence(s)

L'approche de référence recommandée est une combinaison de deux méthodes de traitement nécessaires pour effectuer un bilan physique exhaustif sur le sujet :

- **Un inventaire des installations de géothermie profonde :** vise à établir un bilan direct des productibles et des consommables à partir des données brutes par installation. Cette approche consiste à identifier, compiler et traiter les informations disponibles et exploitables sur le territoire considéré à l'échelle de l'exploitation concernant ses caractéristiques et son fonctionnement.
- **Une modélisation du parc d'installations de pompes à chaleur :** vise à établir le bilan des productibles et des consommables des installations non identifiables sur le territoire à partir de sources de données indirectes. Ce type d'approche nécessite plusieurs jeux d'hypothèses pour établir successivement les caractéristiques du parc (nombre, puissances installées) puis l'estimation des productibles et consommables.

## Comparaison avec la méthode pratiquée dans le cadre du bilan national

Le bilan physique national distingue la filière géothermie de la filière pompe à chaleur. Comme la méthode de référence proposée ci-dessus, les modalités pratiques sont distinctes avec des approches équivalentes.

Sources utilisées par le SDES à l'échelle Nationale:

| Source | Fréquence | Granulométrie | Type donnée | Producteur | Disponibilité |
|---|---|---|---|---|---|
| **Enquête annuelle sur la production d'électricité (EAPE)** | Annuelle | Installation | Production d'électricité et des installations en géothermie profonde | SDES | Données agrégées |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid (EARCF)** | Annuelle | Installation | Chaleur produite et puissance thermique associée des installations reliées à un réseau de chaleur | SDES (SNCU) | Données agrégées et par installation pour quelques variables |
| **Inventaire des installations de production en géothermie profonde** | Annuelle | Installation | Liste des installations de production thermique de la sous filière géothermie profonde et productibles | AFPG | Oui [1] |
| **Marché des pompes à chaleurs individuelles** | Annuelle | France / Régionale | Ventes de pompes à chaleurs < à 30 kW en France Métropolitaine | Observ'ER | Oui |
| **Chiffres clés du génie climatique** | Annuelle | France | Données statistiques de l'association PAC & Clim'info de ventes par segment de marché en France Métropolitaine | Uniclima | Oui |
| **Pénétration des pompes à chaleur dans le secteur tertiaire** | Annuelle (2010 à 2014) | France | Surface chauffée par PAC dans le tertiaire, ainsi que la répartition de cette surface, selon le type de PAC, par année d'installation de la pompe à chaleur | Ceren | Non |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Poids de la filière PAC en France et données associées** | Annuelle | France | Evaluation du parc de PAC et de la production EnR associée | AFPAC | Oui |

A l'instar d'autres filières, l'utilisation seule des sources de données utilisées à l'échelle nationale ne peut suffire pour l'établissement de bilans territoriaux. Les sources utilisées, notamment pour la simulation des productibles et consommables de la filière Pompe à chaleur ne sont accessibles qu'à l'échelon géographique national. Seules quelques informations parcellaires et non homogènes sur le marché des systèmes domestiques sont disponibles à la maille régionale via l'AFPG ou Observ'ER :

- **AFPG :** études de marché, données de puissance installée ou de productibles des systèmes géothermiques du segment « très basse énergie » des années de référence 2010, 2011, 2012, 2015
- **Observ'ER :** ventes de pompes à chaleur inférieures à 30kW, détail régional des systèmes géothermiques, aérothermiques air/eau et air/air à partir de l'année de référence 2018.

Les principes de calculs (et cadres réglementaires associés) peuvent en revanche être compatibles.

---

[1] Les sites de production sont listés dans le document : La géothermie en France • Étude de filière AFPG 2021, ils sont également visibles sur le site https://carto.afpg.fr et font l'objet d'une base de données gérée par le brgm : https://sybase.brgm.fr

# Production des indicateurs territoriaux de la filière

## Liste des indicateurs

| Nom | Unité | Définition littérale |
|---|---|---|
| Nombre d’installations | Nbr | Nombre d'installations **en fonctionnement** présentes sur le territoire |
| Parc installé (électrique) | kWé | Cumul de puissances électriques des unités de production électrique **en fonctionnement** présentes sur le territoire |
| Parc installé (thermique) | kWth | Cumul de puissances thermiques des installations de de production de chaleur **en fonctionnement** présentes sur le territoire |
| Consommation d’énergie primaire | MWh PCI | Énergie prélevée dans le milieu à des fins de production d’énergie par les installations présentes sur le territoire[1] |
| Production de chaleur brute | MWh PCI | Chaleur produite en sortie des installations |
| Production de chaleur d’origine renouvelable[2] | MWh PCI | Part renouvelable de la production de chaleur des installations produites sur le territoire. |
| Production de chaleur livrée en réseaux de chaleur | MWh PCI | Production de chaleur nette délivrée sur les réseaux de chaleur hors pertes échangeurs et y compris pertes distribution |
| Production électrique brute issue de géothermie | MWh | Production d’électricité en sortie des installations de production (hors pertes distribution) par les installations présentes sur le territoire |

| | | |
|---|---|---|
| Facteur de charge annuel | % | Rapport entre l'énergie électrique effectivement produite et l'énergie potentiellement produite à puissance nominale sur un an |
| Injections d'électricité issue de géothermie sur le réseau | MWh | Production d'électricité des installations de production géothermiques injectée sur le réseau électrique (hors pertes distribution) par les installations présentes sur le territoire |
| Consommation finale de chaleur d'origine renouvelable | MWh PCI | Consommations de chaleur issue d'énergie renouvelable dans la consommation finale des installations non raccordées à un réseau de chaleur présentes sur le territoire[3] |
| Consommation finale | MWh PCI | Consommation d'énergie renouvelable et non renouvelable (électrique) des installations non raccordées à un réseau de chaleur |

## Périmètre de comptabilité

Le bilan physique inclut toutes les installations de valorisation de la chaleur ambiante captée dans milieu naturel (sol, eau, air) en fonctionnement sur le territoire et sur l'année de référence considérée.

A noter que le périmètre des installations comptabilisées, dans le cas des pompes à chaleur, c'est-à-dire en approche modélisée, dépend d'une part des hypothèses choisies quant à la durée de vie des systèmes installés, mais aussi, des critères de performance des pompes à chaleur dans la mesure ou seules, les installations dépassant un certain seuil de performance sont retenues[4].

En France, le facteur de performance saisonnier moyen minimal (ou Coefficient de Performance (COP) saisonnier moyen) est établi à 2,5 ce qui conduit à **exclure tous les systèmes de chauffe-eau thermodynamiques, mais aussi toutes les pompes à chaleur air-air installées avant 2005**[5].

La modélisation nationale établie par le SDES, considérant le premier point suppose **une durée de vie moyenne des pompes à chaleur aérothermiques d'environ 17 ans et des pompes à chaleur géothermiques d'environ 20 ans**, soit l'hypothèse adoptée par l'étude de filière effectuée à l'été 2021 de l'association française des professionnels de la géothermie.

## Sources de données préconisées

| Source | Fréquence | Granulométrie | Années disponibles | Type donnée | Producteur | Accès |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Registre national des installations de production et de stockage d'électricité** | Annuelle | Installation | >2017 | Production d'électricité des installations | ODRE | https://opendata.reseaux-energies.fr/ |
| **Enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid (EARCF)** | Annuelle | Installation | 2006 pour la forme actuelle | Chaleur produite et puissance thermique associée des installations reliées à un réseau de chaleur | SDES (SNCU) | https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr |
| **Enquête annuelle détaillée des consommations d'énergies dans l'industrie (EACEI)** | Annuelle | Industrie | 1982 | Consommation énergétique par produit des établissements industriels | Insee | Convention |
| **Base de données des installations classées soumises à autorisation ou enregistrement (BD ICPE)** | Annuelle | Installation | | Données déclaratives des installations | DREAL | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Base de données des opérations de géothermie basse énergie (SYBASE)** | Au fil de l'eau | Installation | ? | Base de données de l'observatoire dynamique de la géothermie de surface | BRGM/AFPG | https://sybase.brgm.fr |
| **Inventaire des installations de production en géothermie profonde** | Annuelle | Installation | | Liste des installations de production thermique de la sous filière géothermie profonde et productibles | AFPG | |
| **Installations aidées par le Fonds chaleur** | Au fil de l'eau | Installations | Données | Données relatives aux installations aidées | Ademe | |
| **Enquête nationale logement (ENL)** | 4 à 7 ans | France métropolitaine[6] | | Mode de chauffage des logements **en résidence principale** | Insee | |
| **Marché des pompes à chaleurs individuelles** | Annuelle | France / Régionale | | Ventes de pompes à chaleurs < à 30 kW en France Métropolitaine | Observ'ER | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Chiffres clés du génie climatique** | Annuelle | France | | Données statistiques de l'association PAC & Clim'info de ventes par segment de marché en France Métropolitaine | Uniclima | |
| **Pénétration des pompes à chaleur dans le secteur tertiaire** | Annuelle (2010 à 2014) | France | | Surface chauffée par PAC dans le tertiaire, ainsi que la répartition de cette surface, selon le type de PAC, par année d'installation de la pompe à chaleur | Ceren | |
| **Poids de la filière PAC en France et données associées** | Annuelle | France | | Evaluation du parc de PAC et de la production EnR associée | AFPAC | |
| **Fichier Détail Logement du Recensement Général de la Population** | Annuelle | Iris | >1999 | | Insee | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Base des demandes d'autorisation d'urbanisme Sitadel** | Annuelle | Commune | | | SDES | |

# Procédure de traitement des données sources

La production du bilan physique de la géothermie et des pompes à chaleur à l'échelle territoriale nécessite un grand nombre de données brutes et d'hypothèses de calcul. Il n'existe en effet pas de base de données exhaustive des installations à l'heure actuelle.

## Inventaire des installations de géothermie profonde

L'approche d'inventaire n'est actuellement possible que pour les installations de la sous filière géothermie profonde (supérieure à 200 m). A terme, il n'est pas exclu que cette approche puisse être élargie à la géothermie de surface si les données issues de l'« observatoire dynamique de la géothermie de surface[7] » porté par le BRGM le permettent. Actuellement, les données compilées dans le cadre de cet observatoire ne portent que sur une frange relativement limitée de la filière (géothermie basse énergie sur captage vertical d'une profondeur de 10 à 200 m). Les bases de données ne comportent, en outre, pas de données exploitables sur la puissance et la production des installations concernées

L'application de l'approche « inventaire des installations », consiste, concrètement, à établir (et suivre) le bilan des consommables et des productibles des installations de valorisation énergétique du territoire. Ce bilan s'appuie en premier lieu sur l'identification des installations en fonctionnement et leurs caractéristiques.

Les installations de géothermie profonde sont référencées et suivies par l'AFPG. Les installations concernées sont également identifiées en DREAL dans le cadre de la réglementation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement. Elles sont pour partie financées par le fond chaleur.

La procédure de référence consiste à compiler et croisées l'ensemble de ces données brutes. Selon les cas, des traitements plus ou moins complexe peuvent être requis afin de pallier aux manques d'informations nécessaires à la production des indicateurs territoriaux : Sectorisation des données de consommation, estimation des consommables et des productibles annuels selon la nature de l'installation (avec ou sans réseau de chaleur), de l'exploitant (auto-consommateur, auto-producteur, producteur) et des vecteurs énergétiques produits (chaleur, électricité).

Le croisement de la table obtenue avec les données locales de consommation des réseaux de chaleur et des données de production d'électricité et de gaz disponibles sur l'Open Data Réseaux Énergie permet de valider et ajuster le cas échéant les données caractéristiques des installations et les données annuelles de production et de consommation.

## Modélisation du parc de pompes à chaleur

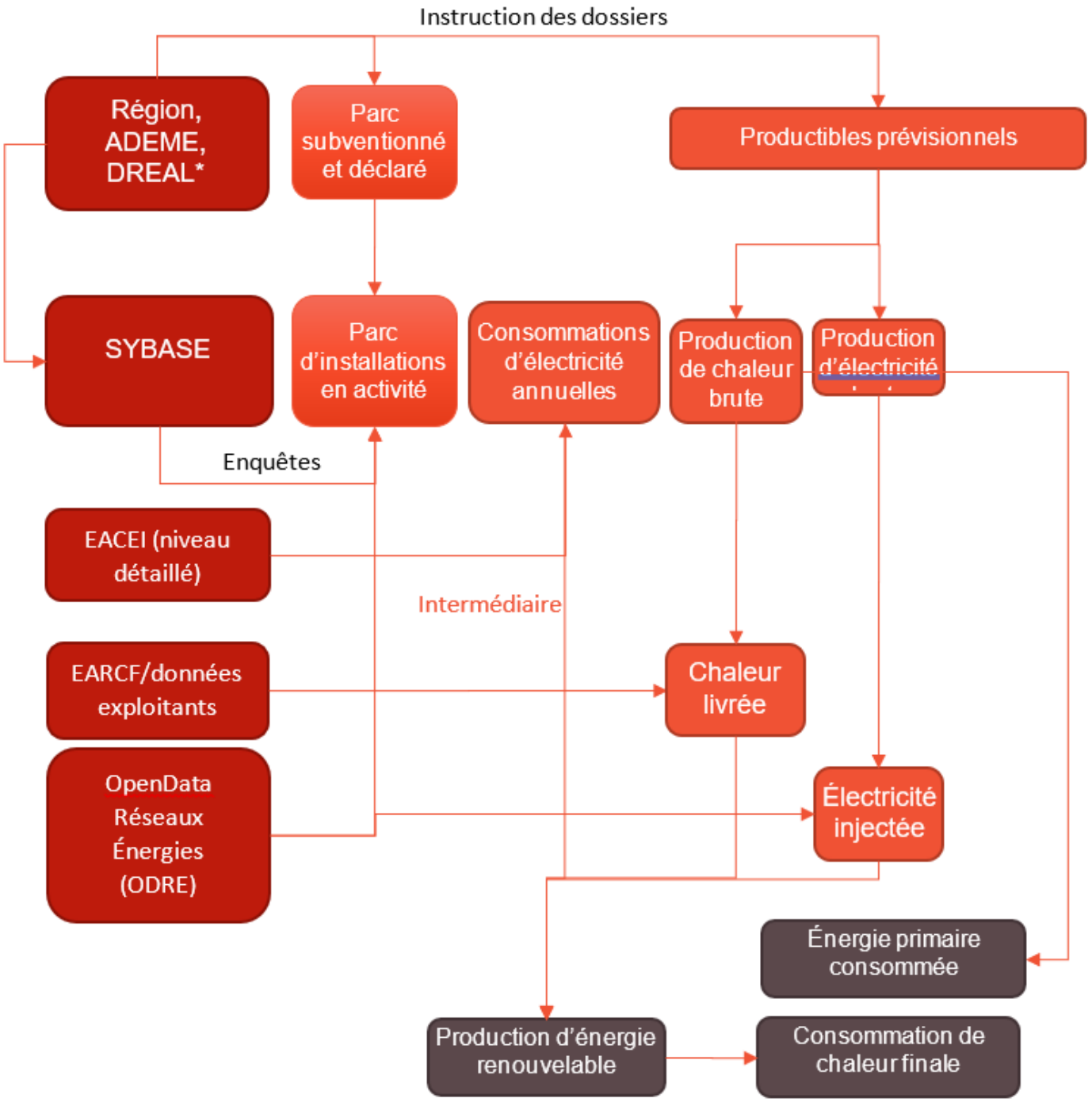
> Si la modélisation du parc de pompes à chaleur s'impose naturellement comme la méthode de référence complémentaire nécessaire à l'élaboration du bilan physique de la géothermie et de l'aérothermie, **il n'est, en revanche pas encore possible, dans le présent guide d'en préciser les modalités opérationnelles compte tenu de l'absence de consensus en matière de modélisation et des nombreuses variables constatées tant en matière de sources que d'hypothèses.** Une étape d'approfondissement puis de test sera nécessaire préalablement au développement de celle-ci.

Variantes observées en régions pour la modélisation du parc d'installation :

Le mode opératoire devra obligatoirement, pour des questions de compatibilité intégrer les traitements recommandés dans le guide PCIT2 pour la modélisation des pompes à chaleur domestiques.

Les hypothèses de calcul et les modalités de traitement des données sources devront également respecter les cadres européens mais aussi considérer et compléter le cas échéant le modèle national.

## Schéma général de traitement




## Récapitulatif des hypothèses utilisées pour établir le bilan national

| | |
|---|---|
| *Durée de vie des appareils* | 17 ans pour les PAC aérothermiques, 20 ans pour les PAC géothermiques |
| *Part vérifiant le FPS minimal par type d'appareil* | 0 % pour les chauffe-eaux thermodynamiques, 100 % pour les PAC géothermiques ou air-eau, 95 % pour les PAC air-air, mais ces hypothèses varient selon l'année d'installation. |
| *Puissance moyenne par type d'appareil* | 11,7 kW pour les PAC géothermiques, 10 kW air-eau avant 2015, 11 kW air-eau après 2019, 8,8 kW air-air multisplit, 6,3 kW air-air monosplit avant 2015, 6,9 air-air monosplit après 2019. |

| | |
|---|---|
| *Part des PAC réversibles par type d'appareil* | 10 % pour les PAC air-eau, 100 % pour les PAC air-air du résidentiel et 83 % pour les PAC air-air du tertiaire. |
| *Part tertiaire* | Quelques pourcents de la puissance sur le segment résidentiel et tertiaire de moins de 30 kW. |
| *Zone climatique* | Zone climatique moyenne pour l'ensemble de la France |
| *Heures de fonctionnement et FPS moyen* | Valeurs par défaut de la décision de la Commission du 1er mars 2013 |

[1] Comptabilisation selon le principe de la « teneur énergétique physique », préconisé par l'AIE et Eurostat, soit le double de la production de chaleur issue de géothermie et dix fois la production brute d'électricité issue de géothermie. (cf. « Energy balance sheet – data 2017 – Edition 2019 » d'Eurostat)

[2] La production de chaleur renouvelable issue de la géothermie doit être calculée en retranchant la consommation électrique de l'installation géothermique, c'est-à-dire la consommation électrique des pompes du puits de forage, des pompes de l'évaporateur et du condenseur. Lorsqu'il n'y a pas de PAC, on considère que les consommations électriques sont négligeables. A noter que le calcul de la part renouvelable dans le cas des pompes à chaleur est défini mathématiquement à l'annexe VII de la directive ENR de la commission européenne de mars 2013

[3] On considère que la consommation finale renouvelable = production de chaleur renouvelable.

[4] Le seuil de performance retenu par l'AIE est établi à proportion des pertes liées à la production électrique. On considère que l'énergie captée dans le milieu naturel doit à minima couvrir les pertes de production électrique nécessaires au fonctionnement des pompes à chaleur.

[5] Méthodologie du bilan énergétique de la France, janvier 2022 pp.86 à 88

[6] Sauf ENL 2006 et 2013

[7] Eléments d'information sur le projet disponibles sur https://www.geothermies.fr