
Etude d'opportunité Géothermie

Centre Hospitalier H. Laborit

Département de la Vienne

370 avenue J. Cœur

86021 POITIERS

Téléphone : 05 49 44 58 65

Portable : 06 07 80 56 94

Courriel : dset.be@ch-poitiers.fr

septembre-23



Étude réalisée par :

Centre Régional des Énergies Renouvelables
8, rue Jacques Cartier - Z.A. de Baussais
79260 LA CRÈCHE

Correspondant : Edouard CHESNEL

Téléphone : 05 49 08 24 24

Fax : 05 49 08 24 25

Courriel : edouard.chesnel@crer.info



Avec le soutien de :



RÉGION
**Nouvelle-
Aquitaine**

Sommaire

1 - Synthèse de l'étude	3
2 - Conditions de réussite	5
3 - Contexte général de l'opération	7
4 - Solution de référence	9
5 - Potentiel géothermique	12
6 - Dimensionnement du système	18
7 - Bilans thermiques	25
8 - Bilan économique	26
Annexe 1 - Le contexte du marché géothermique	34
Annexe 2 - Aspects techniques	35
Annexe 3 - Aspects économiques	40
Annexe 4 - Règlement aides financières	41

1 - Synthèse de l'étude

1.1 Objet

Le **Centre Hospitalier H. Laborit** a sollicité l'assistance du Centre Régional des Énergies Renouvelables afin d'évaluer la faisabilité d'une **installation de chauffage géothermique** sur le projet de construction d'une clinique du collégien et du lycéen. Le bâtiment sera soumis à la RE 2020 et bénéficiera d'un haut niveau de performance énergétique. L'installation de géothermie devra assurer les besoins de chauffage et de rafraîchissement du site. Les besoins d'eau chaude sanitaire n'ont pas été pris en compte dans l'étude.

L'étude d'opportunité présentée, réalisée avec le soutien de l'Ademe et de la Région Nouvelle Aquitaine, vise à fixer **les enjeux techniques, financiers et environnementaux** de projets géothermiques.

L'étude préalable géothermie est un **outil d'aide à la décision**, qui est conduite de façon à :

- vérifier la faisabilité technique du projet,
- proposer des solutions techniques adaptées au contexte local,
- évaluer les enjeux thermiques du projet,
- évaluer les aspects financiers.

L'étude a été réalisée sur le principe de la technologie de géothermie sur nappe aquifère et sur sondes géothermiques verticales et a été comparée à une solution de référence (chaudière gaz à condensation et climatisation).

1.2 Résumé - Conclusion

L'étude de potentiel a permis de montrer l'intérêt, sur les plans environnementaux et économiques, de la mise en œuvre d'un système géothermique sur sondes géothermiques verticales ou sur nappe sur le site concerné pour la production de chauffage et de rafraîchissement.

Le choix d'une solution sur nappe ou sur sondes pourra se faire après la réalisation d'une étude de faisabilité à mener par un bureau d'étude hydrogéologique associé à un bureau d'étude fluide qui permettra de préciser la ressource et les coûts prévisionnels.

Nous préconisons par ailleurs des forages à moins de 100m de profondeur afin de rester dans la zone réglementaire verte.

Les résultats économiques actualisés (prenant compte de l'évolution du coût de l'énergie, des charges et de l'emprunt) permettent d'envisager une rentabilité de l'installation par rapport à une solution de référence en considérant un soutien apporté dans le cadre du Fonds Chaleur de l'Ademe.

Les tableaux ci-dessous résument les principaux résultats de l'étude et listent les avantages et contraintes de chacune des solutions.

Récapitulatif des solutions étudiées

Technologie		Géothermie sur nappe	Sondes géothermiques verticales
Chauffage		Oui	Oui
ECS		Non	Non
Refroidissement		Oui	Oui
Economie d'énergie annuelle		97 523 kWh/an	97 537 kWh/an
	Charges d'investissement	167 524 €	147 117 €
	aides déduites		
	Aides potentielles (fonds chaleur)	91 248 €	102 379 €
	Economie annuelle charges déduites	10 514 €/an	10 987 €/an
	Economie globale actualisée sur 15 ans	204 232 €	228 859 €
	Economie globale actualisée sur 30 ans	505 784 €	549 512 €
Bilan écologique	Economie de CO ₂	24 517 kg/an	24 519 kg/an
Principaux avantages		<ul style="list-style-type: none"> - Potentiel sur nappe a priori important - COP plus important - Rentabilité du projet 	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne conductivité thermique du terrain - Rentabilité du projet
Principales contraintes		- Etude de faisabilité à mener afin de vérifier notamment le débit potentiel, la profondeur et le coût des forages	- Test de réponse thermique à réaliser lors de l'étude de faisabilité
Avis du CRER		Favorable	Favorable

2 - Conditions de réussite

2.1 Critères de réussite d'un projet de géothermie

Afin de s'assurer de la faisabilité technique d'un projet dès le stade de l'étude préalable, certaines conditions doivent être vérifiées. Nous rappelons ici les principaux critères favorisant un projet de géothermie.

Critères bâtiment :

- Système d'émissions de chaleur par eau basse température pour le chauffage de préférence
- Bâtiments neufs ou bien isolés
- Emplacement disponible pour la création d'un local technique
- Besoin de rafraîchissement estival

Critères souterrains :

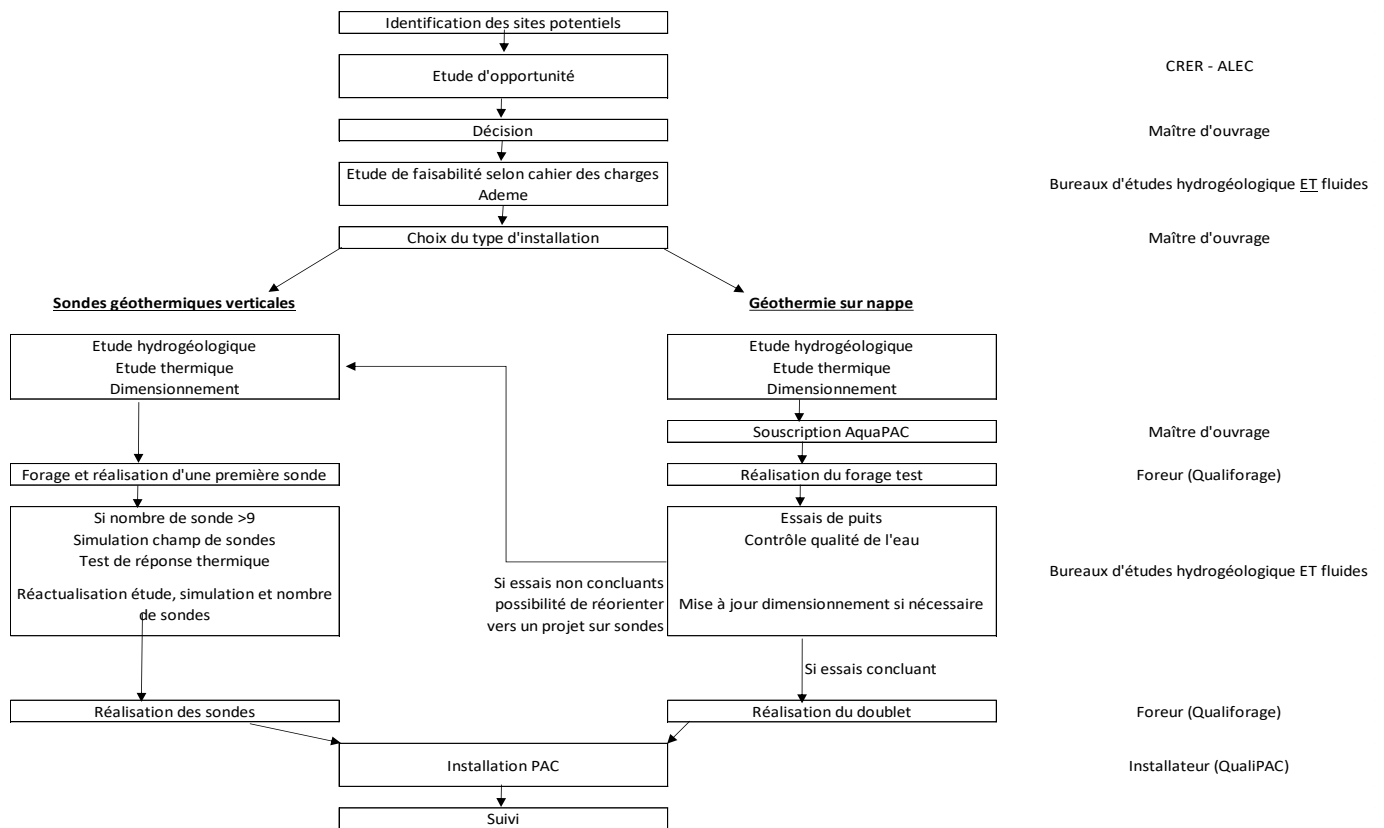
- Terrain disponible et accessible aux engins pour la réalisation de forages
- Localisation en zone verte ou orange sur les cartes des zones d'aléas du sous-sol
- Bonne conductivité thermique du sous-sol (pour les sondes géothermiques verticales)
- Présence de nappe souterraine avec débit et température suffisants au niveau du site d'implantation (géothermie sur nappe)

2.2 Les étapes d'un projet de géothermie

Les différentes phases d'un tel projet sont les suivantes:

- Phase d'évaluation du potentiel
- Phase de développement du projet
- Phase de réalisation
- Phase de production
- Fin de vie

La chronologie présentée ci-dessous détaille les objectifs de ces différentes phases de vie et présente les différents acteurs en jeu.



3 - Contexte général de l'opération

3.1 Informations générales

Maître d'ouvrage : Centre Hospitalier H. Laborit

Référent : Hubert Couturier

Fonction : Responsable Patrimoine

3.2 Périmètre concerné par l'opération

Site concerné :	Clinique du Collégien et du Lycéen	
Adresse du site :	ZAC du Pré Médard - 86280 Saint-Benoît	
Usage :	Soins hospitaliers	
Année de construction / réhabilitation :	Projet 2024	
Surface chauffée :	CH Laborit	1 200 m²
	Total	1 200 m²

3.3 Localisation des sites potentiels

Plan de situation



Plan de masse



Légende :

— zone susceptible d'accueillir des forages

3.4 Station météo de référence

Nom de la station	Poitiers
Zone Climatique	H2
Département	86
Température extérieure de base	-7 °C
Altitude	120 m
Température extérieure de base corrigée	-7 °C
Degrés-jour (base 18°C)	2 038 °C.j
Nombre de jours de chauffe	232 j/an

4 - Solution de référence

4.1 Besoins thermiques

Identification des besoins thermiques	- Chauffage des locaux	Oui
	- Rafraichissement	Oui
	- Eau Chaude Sanitaire	Non
Méthode de calcul	- Estimation des besoins	

Les besoins thermiques sont issus des pertes d'énergie par l'enveloppe du bâtiment (murs, combles) et par les entrées d'air extérieur (système de ventilation, infiltrations d'air). Ces besoins sont entièrement indépendants du système de production de chaleur.

Les besoins thermiques d'un bâtiment dépendent de différents paramètres :

- le volume à chauffer,
- l'isolation des murs, du sol et des combles (type, épaisseur, âge et mise en œuvre du ou des matériau(x) isolant(s)),
- la température souhaitée,
- les menuiseries (étanchéité et vitrage),
- le système de ventilation mécanique (simple flux, hygro réglable, double flux, puits canadien),
- les périodes d'occupation.

Données relatives au chauffage des locaux

<u>Commentaires du CRER</u>
Il a été considéré dans la solution de référence la construction d'un bâtiment de type RE2020 à haute performance énergétique. Il a été considéré un coefficient de déperditions thermiques globales G de 0,5 W/m ³ .°C. D'autre part, une température de consigne de 21°C a été intégrée à l'étude.

CH Laborit

Surface totale :	1 260 m ²	Surface chauffée :	1 200 m ²
Volume total :	3 150 m ³	Volume chauffé :	3 000 m ³

Déperditions thermiques globales : Coefficient G : 0,5 W/m³.°C

Occupation moyenne du lieu :

Température intérieure	21°C					
DJU correspondants	2 734°C.j					
Périodes d'occupation	24 h/j					
Jours par saison de chauffe	232 j/an					
Coefficient d'intermittence						1,34

Besoins de chauffage :	TOTAL	98 332 kWh/an
-------------------------------	--------------	----------------------

4.2 Emetteurs de chaleur

Il a été considéré dans la solution de référence une émission de chaleur par plancher chauffant.

4.3 Puissance calorifique

La puissance de génération de chaleur minimale des appareils de chauffe correspond à la puissance nécessaire pour chauffer les locaux à la température de base. Une marge de 20% doit être prise en compte afin de pouvoir monter rapidement les locaux en température, notamment dans des conditions de froid important.

La puissance nécessaire dépendra de plusieurs paramètres et notamment :

- des besoins de chauffage
- du rendement de distribution (prenant en compte les pertes de chaleur dans le réseau)
- du rendement d'émission

Les hypothèses suivantes ont été prises en compte pour le calcul de la puissance de génération. Les puissances mentionnées de manière indicative prennent en compte les travaux de rénovation énergétique mentionné plus haut et devront être affinée par une étude thermique réglementaire.

Rendement distribution	98%
Rendement émission	99%

Puissance nécessaire totale	52 kW
------------------------------------	--------------

4.4 Système de chauffage de référence

Il est pris en compte dans cette étude comme solution de référence un système de chauffage de type chaudière gaz à condensation.

Caractéristiques énergétiques :

	CH Laborit
Rendement génération	95%
Rendement distribution	98%
Rendement émission	99%
Rendement régulation	95%
Rendement global estimé	88%

Consommation énergie finale	112 302 kWh
------------------------------------	--------------------

4.5 Système de production d'ECS de référence

La production d'eau chaude sanitaire n'a pas été prise en compte dans cette étude.

4.6 Système de rafraîchissement de référence

Afin de conserver un confort d'été satisfaisant, il a été pris en compte dans la solution de référence un système de climatisation par splits.

Caractéristiques énergétiques :

Efficacité énergétique de rafraîchissement (SEER)	2,8
Rendement distribution	100%
Rendement émission	97%
Rendement régulation	95%
Rendement global estimé (énergie finale)	258%

Besoin de rafraîchissement	29 500 kWh
Consommation énergie finale	11 433 kWh

5 - Potentiel géothermique

5.1 Géothermie sur nappe

5.1.1 Contexte réglementaire

Chaque projet de géothermie nécessite de réaliser différentes démarches administratives liées à la réglementation du sous-sol.

La profondeur du système, la puissance soutirée mais aussi le contexte géologique sont les principaux paramètres influant les démarches à réaliser.

A l'exception des puits canadiens, des fondations thermiques (pieux) et des installations géothermiques installées à une profondeur inférieure à 10 mètres, toutes les installations géothermiques doivent être déclarées ou autorisées.

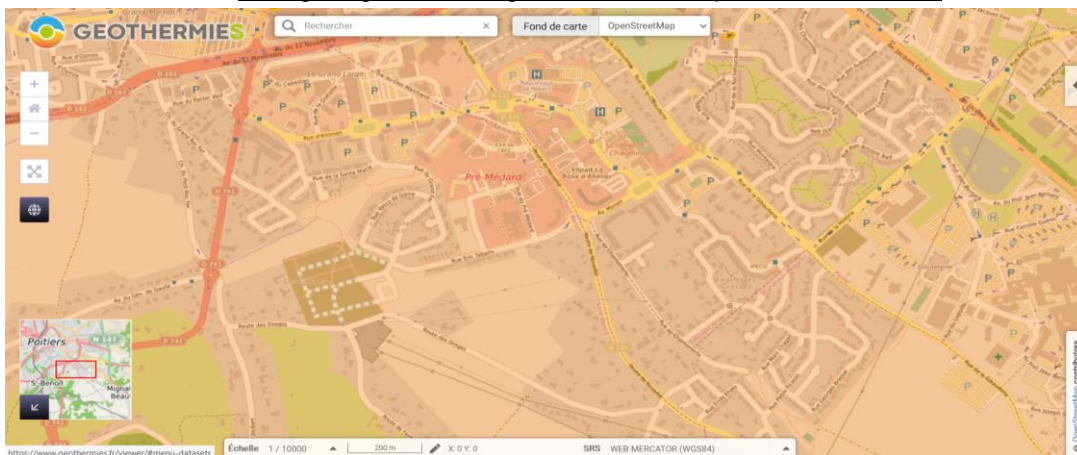
Les projets géothermiques à échangeurs ouverts (soit les systèmes sur aquifère) sont considérés de "minime importance" s'ils respectent les conditions suivantes :

- profondeur d'installation supérieure à 10 m et jusqu'à 200 m
- puissance soutirée du sous-sol inférieure à 500 kW
- localisation en zone verte ou orange sur les cartes des zones d'aléas du sous-sol
- température de l'eau puisée en sous-sol inférieure à 25 °C
- prélèvement et une réinjection dans le même aquifère
- aucun volume prélevé pour un usage autre (arrosage, consommation, agriculture, industrie...)
- débit pompé inférieur à 80m³/h.

Caractéristiques de l'aquifère au niveau du site (source BRGM : geothermies.fr)



Zonage réglementaire géothermie sur aquifère de 0 à 100m

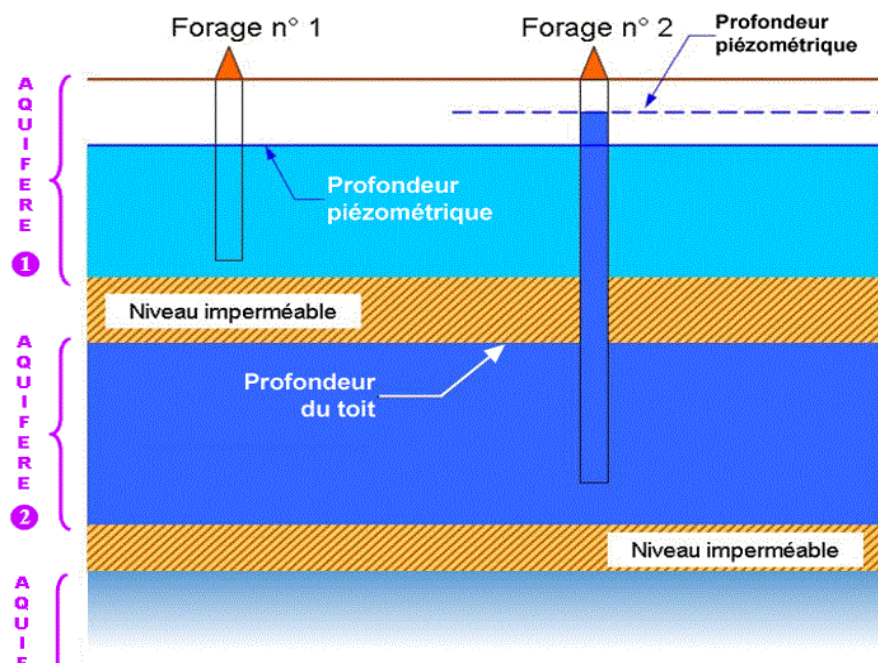


Zonage réglementaire géothermie sur aquifère de 100 à 200m

Le projet est situé en zone verte de 0 à 100m et orange de 100 à 200m de profondeur. Dans les zones orange, les projets de GMI sont autorisés sous simple déclaration avec avis d'expert. L'avis d'expert n'est pas requis dans les zones vertes.

5.1.2 Caractéristiques hydrogéologiques du site

Caractéristiques des aquifères



Aquifère	Nom de l'aquifère	Profondeur toit (m)	Épaisseur de la formation (m)	Débit (m3/h)	Potentiel géothermique
n°1	DOGGER	3	98	50 - 100	Moyen
n°2	INFRA-TOARCIEN	130	11	10 - 50	Moyen
n°3	SOCLE	141	59	0 - 5	Faible

source BRGM : geothermies.fr

Selon les données cartographiques issues du site geothermies.fr, la première nappe (dogger) possède un potentiel fort et est à faible profondeur, ce qui peut être très intéressant pour un projet de géothermie. Le site internet indique en première approche un débit potentiel de 50m3/h, ce qui pourra servir de base dans cette étude. Une étude plus poussée d'un bureau d'étude hydrogéologique pourrait permettre d'apprécier au mieux le potentiel. Dans tous les cas, un forage test devra être mis en œuvre pour vérifier le débit exploitable. L'assurance AquaPAC peut être souscrite pour se couvrir sur les risques de ne pas rencontrer le succès attendu dans la recherche d'eau.

5.1.3 Potentiel géothermique sur nappe

Nous considérons les hypothèses suivantes afin d'évaluer le potentiel géothermique :

Hypothèses :

COP	5
-----	---

Caractéristiques énergétiques :

Puissance calorifique du projet (chauffage)	52 kW
Puissance frigorifique nécessaire	42 kW
Puissance électrique absorbée	10 kW

Débit d'eau minimum nécessaire pour le projet (avec $\Delta T=4K$) :
6 m³/h

Selon les hypothèses prises, le débit d'eau extractible permet d'obtenir la puissance nécessaire pour couvrir la totalité de la puissance de chauffage nécessaire.

5.2 Géothermie sur sondes verticales

5.2.1 Contexte réglementaire

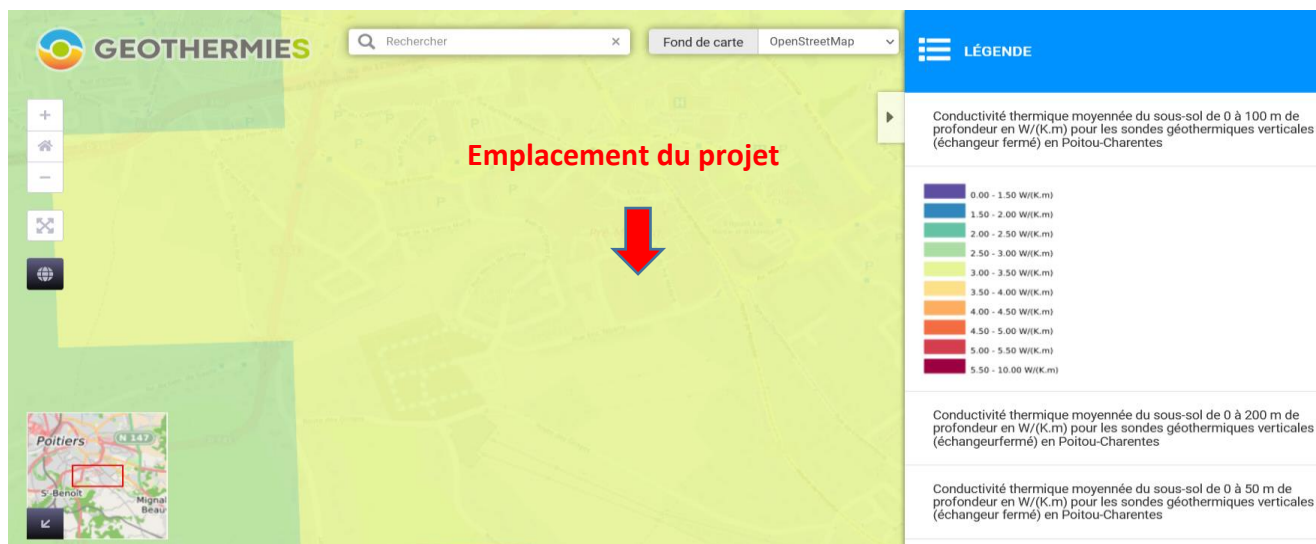
Les projets géothermiques sur sondes géothermiques verticales sont considérés de "minime importance" s'ils respectent les conditions suivantes :

- profondeur d'installation supérieure à 10 m et jusqu'à 200 m
- puissance soutirée du sous-sol inférieure à 500 kW
- localisation en zone verte ou orange sur les cartes des zones d'aléas du sous-sol



Le projet est situé en zone verte de 0 à 100m et orange de 100 à 200m de profondeur. Dans les zones orange, les projets de GMI sont autorisés sous simple déclaration avec avis d'expert. L'avis d'expert n'est pas requis dans les zones vertes.

5.2.2 Caractéristiques géologiques du site



Selon les données cartographiques issues du site geothermies.fr, la conductivité thermique moyenne sur 100 m est évaluée à 3,14 W/mK et à 2,94 W/m.K sur 200 m, ce qui constitue une valeur très intéressante.

5.2.3 Potentiel géothermique sur sondes

Nous considérons les hypothèses suivantes afin d'évaluer le potentiel géothermique :

Hypothèses :

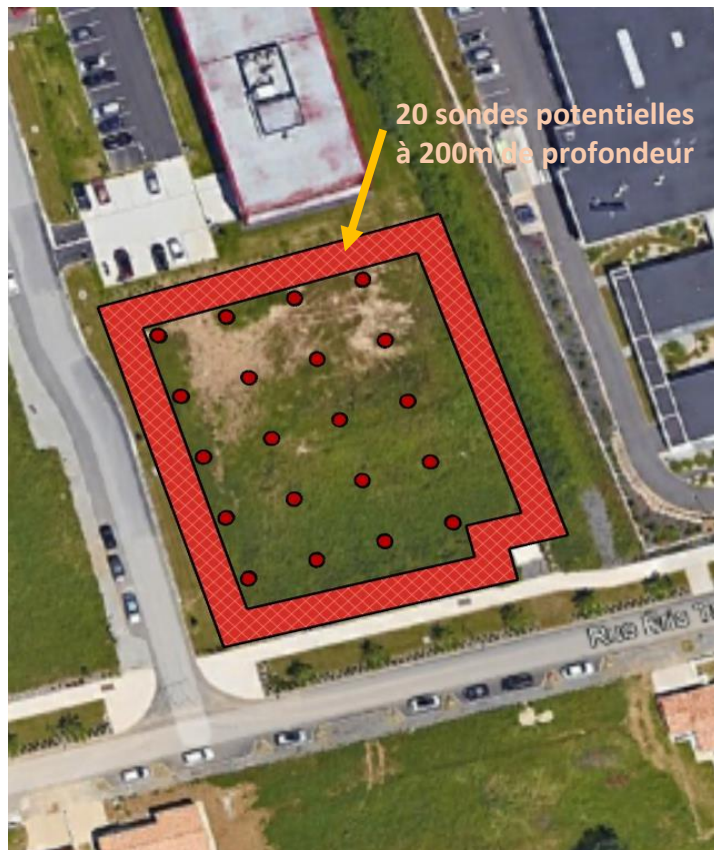
COP (0/-3)	4,5
Conductivité	3,14 W/mK

Nombre de sondes maximal

On cherche à déterminer la longueur maximale de sondes sur le site pour déterminer la puissance maximale extractible. Dans le cadre de la géothermie de minime importance, la longueur maximale de chaque sonde est de 200m. Afin d'éviter au mieux les interactions sur le prélèvement de l'énergie géothermique, elles doivent être écartées au minimum de 10m l'une de l'autre. De manière générale, on veillera à respecter les distances suivantes avec les différentes obstructions :

Obstructions	Distance minimale (m)
Arbres	5
Réseaux enterrés non hydraulique	1,5
Fondations, puits, fosses septiques, évacuations,	3
Limite de propriété	5

Nombre de sondes maximal	20
Ecartement minimum entre sondes	10,0 m
Profondeur maximale des sondes	200 m
Longueur maximale de sondes	4 000 m



Légende :



**emplacement
sondes**



**Zones non
exploitables en
limite de
bâtiment, de
parcelle ou à
proximité d'arbres**

Caractéristiques énergétiques :

Pour déterminer la puissance maximale extractible du sol, on prendra en première approche un ratio maximal de 50W/ml de sonde.

Puissance frigorifique extractible	200 kW
Puissance calorifique envisageable	257 kW

Puissance calorifique du projet	52 kW
Puissance frigorifique nécessaire	40 kW
Puissance électrique absorbée	12 kW

Selon les références de géothermies.fr, la surface de terrain et sa conductivité thermique offrent un potentiel suffisant pour envisager une installation de géothermie sur sondes.

Les distances minimales préconisées devront être respectées en limite des bâtiments existants, en limite de propriété et aux abords des arbres.

6 - Dimensionnement du système

6.1 Emetteurs de chaleur

Il a été pris en compte dans cette étude une émission par plancher chauffant-rafraichissant. Ce type d'émetteur à très basse température permet d'obtenir une performance optimale de la pompe à chaleur géothermique et de réduire la consommation d'énergie. Il permet en outre le rafraichissement par geocooling en période estivale.

6.2 Dimensionnement du générateur de chaleur

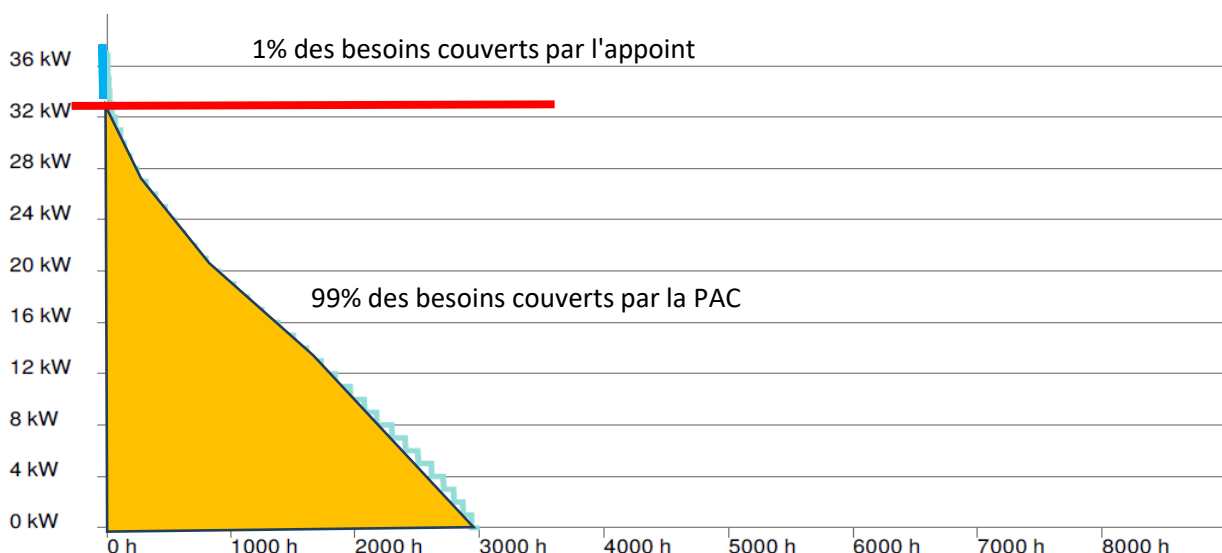
Les besoins de chaleur d'un bâtiment ne sont pas constants tout au long de l'année. Plus les conditions extérieures sont défavorables, plus le besoin de chaleur sera important. Les situations extrêmement défavorables (températures négatives) sont relativement rares au cours d'une année. Cependant, le système de chauffage est dimensionné pour pouvoir répondre à ces besoins.

Afin d'optimiser les performances d'une pompe à chaleur ainsi que les coûts notamment pour les installations sur sondes géothermiques, il est préférable de ne pas la surdimensionner par rapport aux besoins. Aussi, il peut être judicieux de sous-dimensionner la pompe à chaleur tout en utilisant un appoint en cas de besoins plus important.

Il a été considéré dans cette étude un dimensionnement des pompes à chaleur à 80% de la puissance nécessaire à la température de base. Un appoint électrique pourra couvrir les besoins en cas de besoin de surpuissance. La puissance globale PAC+appoint sera dimensionnée à 120% des déperditions à la température de base.

Production de chauffage :

Source de chaleur	Nappe	SGV
Puissance totale PAC géothermique	35 kW	35 kW
Appoint (électrique)	18 kW	18 kW



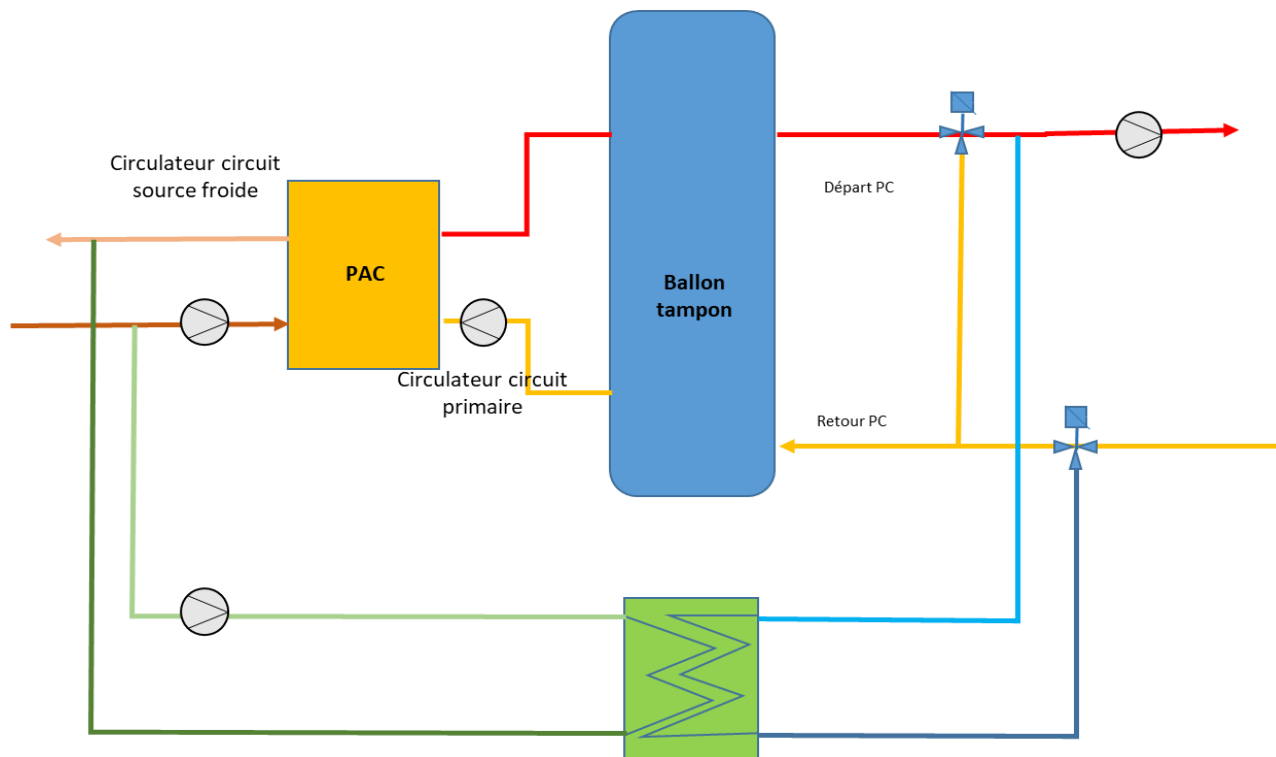
Courbe monotone type de chauffage géothermique sans eau chaude sanitaire
avec PAC dimensionnée à 80% des déperditions

6.3 Schéma hydraulique

Il est proposé un système de chauffage à implanter dans le local technique comprenant:

- pompe à chaleur géothermique de 35 kW + 18 kW d'appoint électrique
- ballon tampon en découplage et kit hydraulique
- échangeur de barrage recommandé entre le doublet et la PAC dans le cas de la nappe.
- échangeur geocooling

La régulation se fera par loi d'eau avec sonde de température extérieure.



Exemple de schéma de principe

6.4 Géothermie sur nappe : dimensionnement et caractéristiques énergétiques

Nous considérons les hypothèses suivantes afin de dimensionner le système :

Hypothèses :

COP PAC géo production chauffage	5
SEER (geocooling)	25
Delta T entre puisage et réinjection	4 K
Profondeur du forage de pompage	70 m

Caractéristiques énergétiques :

Production de chaleur (chauffage) :

Puissance calorifique maximale du projet (PAC)	35 kW
Puissance calorifique maximale de l'appoint pour le chauffage	18 kW
Chaleur à produire par les PAC	106 687 kWh
<i>dont : Chaleur produite par l'appoint</i>	1 067 kWh
<i>Chaleur produite par la PAC</i>	105 620 kWh

Consommation énergétique :

Consommation totale	24 932 kWh
<i>dont consommation électrique PAC</i>	21 124 kWh
<i>consommation électrique auxiliaires</i>	2 741 kWh
<i>consommation appoint</i>	1 067 kWh

Energie extraite du sous-sol :

Besoin annuel frigorifique (source froide)	84 496 kWh
Puissance frigorifique à extraire	28 kW
Débit minimum nécessaire	6 m ³ /h
Nombre d'heures de fonctionnement du puits	3 050 h

Production de froid (geocooling) :

Froid à produire	32 006 kWh
Consommation énergie	1 280 kWh

Afin de chauffer les locaux, un débit minimum de 6 m³/h sera nécessaire pour le fonctionnement de la pompe à chaleur géothermique. L'étude de faisabilité devra confirmer la présence d'une ressource suffisante.

Exemple d'implantation du doublet :



Zones non exploitables en limite de bâtiment, d'arbres ou de parcelle

Le puisage et la réinjection de l'eau devra impérativement se faire dans le sens de l'écoulement de la nappe. Celui-ci sera déterminé lors de l'étude hydrogéologique. Les forages devront être réalisés à une distance minimale de 5m des arbres et de 3m des fondations des bâtiments. Une distance minimale devra être respectée entre le puits de puisage et celui de réinjection pour éviter tout recyclage de l'eau.

6.5 Géothermie sur sondes : dimensionnement et caractéristiques énergétiques

Nous considérons les hypothèses suivantes afin de dimensionner le système :

Hypothèses :

COP PAC géo production chauffage	4,5
SEER (geocooling)	25
Conductivité	3,1 W/mK
Delta T entre départ et retour sondes	3 K

Caractéristiques énergétiques :

Production de chaleur (chauffage) :

Puissance calorifique maximale du projet (PAC)	35 kW
Puissance calorifique maximale de l'appoint électrique	18 kW
Chaleur à produire	106 687 kWh
<i>dont : Chaleur produite par l'appoint</i>	<i>1 067 kWh</i>
<i>Chaleur produite par la PAC</i>	<i>105 620 kWh</i>

Consommation énergétique :

Consommation électrique	24 918 kWh
<i>dont consommation PAC</i>	<i>23 471 kWh</i>
<i>consommation auxiliaires</i>	<i>380 kWh</i>
<i>consommation appoint</i>	<i>1 067 kWh</i>

Energie extraite du sous-sol :

Puissance frigorifique à extraire	27 kW
Besoin annuel frigorifique (source froide)	82 149 kWh
Nombre d'heures de fonctionnement des sondes	3 050 h

Production de froid (geocooling) :

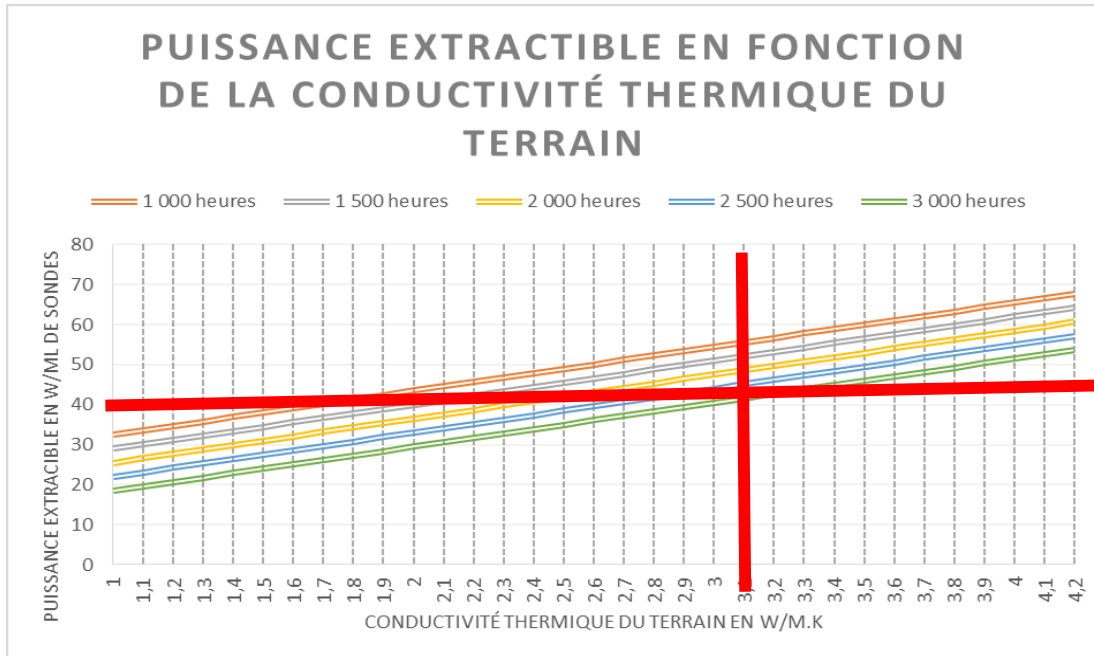
Froid à produire	29 500 kWh
Consommation énergie	1 280 kWh

Dimensionnement du champ de sondes :

La puissance spécifique récupérable dans le sol pour alimenter une pompe à chaleur géothermique dépend de deux paramètres principaux :

- la conductivité thermique
- les heures d'utilisation à puissance nominale.

Le dimensionnement de la pompe à chaleur permettra de dimensionner la profondeur des sondes ainsi que leur nombre.



Puissance d'extraction spécifique	41 W/ml
Longueur de sondes	657 m
Profondeur des sondes	94 m
Nombre de sondes	7
Ecartement minimum des sondes	10,0 m

Il est envisagé 7 sondes géothermiques de 94m pour couvrir les besoins frigorifiques du projet. Leur emplacement devra être éloigné d'au moins 5m de tout arbre, à 3m des fondations des bâtiments existants et à 1,5m des réseaux. Elles devront espacées d'un minimum de 10m. On notera qu'il est également envisageable d'implanter les sondes sous le bâtiment si nécessaire. On notera également que ce dimensionnement se base sur une estimation des besoins thermiques du site. Une augmentation des besoins de chauffage entraînerait une augmentation du temps de fonctionnement et un linéaire de sondes géothermiques plus important.

Exemple d'implantation des sondes :



Zones non exploitables en limite de bâtiment, d'arbres ou de parcelle

7 - Bilans thermiques

7.1 Géothermie sur nappe

	Besoins utiles	Solution géothermique (PAC + appoint éventuel)					Solution référence	
		Consommations			Production		Consommations	
		PAC*	Auxiliaires**	Appoint***	PAC ou geocooling	Appoint	Combustible	Electricité
Chauffage	98 332 kWh	21 124 kWh	2 741 kWh	1 067 kWh	105 620 kWh	1 067 kWh	112 302 kWh	0 kWh
ECS	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Froid***	29 500 kWh	0 kWh	1 280 kWh	0 kWh	32 006 kWh	0 kWh	0 kWh	11 433 kWh
Total	127 832 kWh	21 124 kWh	4 021 kWh	1 067 kWh	137 626 kWh	1 067 kWh	112 302 kWh	11 433 kWh

* Consommation électrique du compresseur de la PAC

** Consommation électrique des auxiliaires : pompes de forage, pompes de circulation (hors pompes côté distribution) ;

***Froid : En cas de rafraîchissement direct (geocooling ou freecooling), l'indiquer clairement

7.2 Géothermie sur sondes verticales (échangeurs fermés)

	Besoins utiles	Solution géothermique (PAC + appoint éventuel)					Solution référence	
		Consommations			Production		Consommations	
		PAC*	Auxiliaires**	Appoint	PAC ou geocooling	Appoint	Combustible	Electricité
Chauffage	98 332 kWh	23 471 kWh	380 kWh	1 067 kWh	105 620 kWh	1 067 kWh	112 302 kWh	0 kWh
ECS	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Froid***	29 500 kWh	0 kWh	1 280 kWh	0 kWh	32 006 kWh	0 kWh	0 kWh	11 433 kWh
Total	127 832 kWh	23 471 kWh	1 660 kWh	1 067 kWh	137 626 kWh	1 067 kWh	112 302 kWh	11 433 kWh

* Consommation électrique du compresseur de la PAC

** Consommation électrique des auxiliaires : pompes de forage, pompes de circulation (hors pompes côté distribution) ;

***Froid : En cas de rafraîchissement direct (geocooling ou freecooling), l'indiquer clairement

8 - Bilan économique

8.1 Solution de référence

8.1.1 Investissement

Montant investissement HT	96 600 €	Amortissement
Chaudière gaz à condensation 55 kW	10 000 €	15 ans
Climatiseur multisplit (unités extérieures + intérieures)	50 000 €	15 ans
Equipement et pose	24 000 €	15 ans
Ingénierie	12 600 €	15 ans
TVA (20%)	19 320 €	
Montant investissement TTC	115 920 €	

Charges d'investissement	115 920 €
---------------------------------	------------------

8.1.2 Charges d'exploitation

Maintenance annuelle		780 €TTC
Part variable du coût de l'énergie :	Gaz naturel	0,1200 €/kWh
Part variable du coût de l'énergie :	Electricité	0,2160 €/kWh
Consommation d'énergie		15 946 €TTC
Surcoût abonnement annuel gaz		250 €TTC
Surcoût abonnement annuel électricité		508 €TTC
Total charges d'exploitation		17 483 €

8.2 Géothermie sur nappe

8.2.1 Investissement

Montant investissement HT	215 644 €	Amortissement
Doublet de forage (2 puits de 70 m)	120 000 €	30 ans
Réseau horizontal entre puits et PAC	18 000 €	30 ans
Pompe à chaleur géo	24 158 €	15 ans
Geocooling	5 000 €	15 ans
Equipement et pose	11 663 €	15 ans
Ingénierie	36 823 €	15 ans
TVA (20%)	43 129 €	
Montant investissement TTC	258 772 €	

Aides financières envisageables (Fonds chaleur Ademe)	91 248 €	
dont : Fonds chaleur étude		49 000 €
Fonds chaleur travaux		42 248 €

Charges d'investissement	167 524 €
---------------------------------	------------------

8.2.2 Charges d'exploitation annuelles (la première année)

Maintenance annuelle	960 €TTC
Part variable du coût de l'énergie : Electricité	0,2160 €/kWh
Consommation d'énergie	5 662 €TTC
Surcoût abonnement annuel électricité	347 €TTC
Total charges d'exploitation	6 969 €

8.2.3 Bilan économique par rapport à la solution de référence

Economie annuelle (la première année)	10 514 €
Surcoût de l'installation géothermique	51 604 €

Résultats actualisés¹

Economie de charges actualisée sur 15 ans	211 134 €
Surcoût de l'installation avec charges financières	6 901 €
Economie globale réalisée sur 15 ans	204 232 €

Economie de charges actualisée sur 30 ans	593 027 €
Surcoût de l'installation avec charges financières	87 243 €
Economie globale réalisée sur 30 ans	505 784 €

¹ prend en compte le surcoût de l'installation, les intérêts d'emprunt, le coût des charges de maintenance actualisé, les économies actualisées réalisées sur la facture d'électricité, le remplacement de la Pac et de la solution de référence après 15 ans.

Indexation des charges de maintenance	1,50%
Indexation du coût de l'électricité	4,00%
Taux d'intérêt emprunt	2,00%

8.3 Géothermie sur sondes verticales (échangeurs fermés)

8.2.1 Investissement

Montant investissement HT	207 914 €	Amortissement
7 SGV de 94 m	106 800 €	30 ans
Réseau sondes horizontal	21 000 €	30 ans
Pompe à chaleur géo	24 158 €	15 ans
Geocooling	5 000 €	15 ans
Equipement et pose	11 663 €	15 ans
Ingénierie	39 293 €	15 ans
TVA (20%)	41 583 €	
Montant investissement TTC	249 496 €	

Aides financières (Fonds chaleur Ademe)	102 379 €	
dont : Fonds chaleur étude		20 230 €
Fonds chaleur travaux		82 149 €

Charges d'investissement	147 117 €
---------------------------------	------------------

8.2.2 Charges d'exploitation annuelles (la première année)

Maintenance annuelle	480 €TTC
Part variable du coût de l'énergie : Electricité	0,2160 €/kWh
Consommation d'énergie	5 659 €TTC
Surcoût abonnement annuel électricité	358 €TTC
Total charges d'exploitation	6 497 €

8.2.3 Bilan économique par rapport à la solution de référence

Economie annuelle de fonctionnement (1 ^{ère} année)	10 987 €
Surcoût de l'installation géothermique	31 197 €

Résultats actualisés¹

Economie de charges actualisée sur 15 ans	218 987 €
Surcoût de l'installation avec charges financières	-9 872 €
Economie globale réalisée sur 15 ans	228 859 €

Economie de charges actualisée sur 30 ans	610 614 €
Surcoût de l'installation avec charges financières	61 102 €
Economie globale réalisée sur 30 ans	549 512 €

¹ prend en compte le surcoût de l'installation, les intérêts d'emprunt, le coût des charges de maintenance actualisé, les économies actualisées réalisées sur la facture d'électricité, le remplacement de la Pac et de la solution de référence après 15 ans.

Indexation des charges de maintenance	1,50%
Indexation du coût de l'électricité	4,00%
Taux d'intérêt emprunt	2,00%

8.4 Analyse des résultats économiques

Le projet de géothermie présente un intérêt économique en considérant un besoin de financement à solliciter auprès des financeurs. Les coûts indiqués sur les forages devront être confirmés par l'étude de faisabilité à mener par un BE hydrogéologique et peuvent notamment varier en fonction de la nature du terrain et de la profondeur réelle de la nappe. De ce point de vue, l'étude de faisabilité devra permettre une approche complémentaire pour le choix de la solution. Les études de faisabilité sont subventionnées dans le cadre du fonds chaleur de l'Ademe.

Prévisionnel de fonctionnement

Solution de référence

Investissement initial

Coût d'investissement	115 920 €TTC
FCTVA	0 €
Montant emprunté à taux courant	115 920 €
Durée de l'amortissement	15 ans

Taux d'emprunt	3,00%
Nombre d'annuités	15
Annuités	9 710 €
Intérêts annuels	1 982 €

Hypothèses d'indexation

Indexation du coût de l'énergie	4,0 %/an
Indexation des charges annuelles	1,5 %/an

Renouvellement système de chauffage après 15 ans

Coût d'investissement	100 800 €TTC
FCTVA	16 535 €
Montant emprunté à taux courant	84 265 €
Durée de l'amortissement	15 ans

Taux d'emprunt	3,00%
Nombre d'annuités	15
Annuités	7 059 €
Intérêts annuels	1 441 €

Compte prévisionnel de fonctionnement

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15	Année 16	Année 17	Année 18	Année 19	Année 20	Année 21	Année 22	Année 23	Année 24	Année 25	Année 26	Année 27	Année 28	Année 29	Année 30
Amortissement (€)	7 728	7 728	7 728	7 728	7 728	7 728	7 728	7 728	7 728	7 728	7 728	7 728	7 728	7 728	7 728	5 618	5 618	5 618	5 618	5 618	5 618	5 618	5 618	5 618	5 618	5 618	5 618	5 618	5 618	5 618
Intérêts (€)	1 982	1 982	1 982	1 982	1 982	1 982	1 982	1 982	1 982	1 982	1 982	1 982	1 982	1 982	1 982	1 441	1 441	1 441	1 441	1 441	1 441	1 441	1 441	1 441	1 441	1 441	1 441	1 441	1 441	1 441
Annuité (€)	9 710	9 710	9 710	9 710	9 710	9 710	9 710	9 710	9 710	9 710	9 710	9 710	9 710	9 710	9 710	7 059	7 059	7 059	7 059	7 059	7 059	7 059	7 059	7 059	7 059	7 059	7 059	7 059	7 059	7 059

ENERGIE FOSSILE																														
Consommation énergie fossile (kWh)	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302	112 302
Coût de l'énergie fossile (€TTC/kWh)	0,1200	0,1248	0,1298	0,1350	0,1404	0,1460	0,1518	0,1579	0,1642	0,1708	0,1776	0,1847	0,1921	0,1998	0,2078	0,2161	0,2248	0,2337	0,2431	0,2528	0,2629	0,2735	0,2844	0,2958	0,3076	0,3199	0,3327	0,3460	0,3598	0,3742
Surcoût abonnement gaz (€TTC/an)	250	260	270	281	292	304	316	329	342	356	370	385	400	416	433	450	468	487	506	527	548	570	592	616	641	666	693	721	750	780
Coûts de conso annuelle d'énergie fossile (€TTC)	13 726	14 275	14 846	15 440	16 058	16 700	17 368	18 063	18 785	19 537	20 318	21 131	21 976	22 855	23 769	24 720	25 709	26 737	27 807	28 919	30 076	31 279	32 530	33 831	35 185	36 592	38 056	39 578	41 161	42 807
ELECTRICITE																														
Consommation d'électricité (kWh)	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433	11 433
Coût de l'électricité (€TTC/kWh)	0,2160	0,2246	0,2336	0,2430	0,2527	0,2628	0,2733	0,2842	0,2956	0,3074	0,3197	0,3325	0,3458	0,3597	0,3740	0,3890	0,4046	0,4207	0,4376	0,4551	0,4733	0,4922	0,5119	0,5324	0,5537	0,5758	0,5989	0,6228	0,6477	0,6736
Surpuissance abonnement électrique nécessaire (kVA)	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Composante annuelle soutirage fixe (€TTC/kVA)	13,93	14,49	15,07	15,67	16,30	16,95	17,63	18,33	19,07	19,83	20,62	21,45	22,31	23,20	24,13	25,09	26,09	27,14	28,22	29,35	30,53	31,75	33,02	34,34	35,71	37,14	38,63	40,17	41,78	43,45
Surcoût soutirage fixe (€TTC)	508	528	549	571	594	617	642	668	695	722	751	781	813	845	879	914	951	989	1 028	1 069	1 112	1 157	1 203	1 251	1 301	1 353	1 407	1 463	1 522	1 583
Coûts de consommation annuelle d'électricité (€TTC)	2 977	3 096	3 220	3 349	3 483	3 622	3 767	3 918	4 074	4 237	4 407	4 583	4 766	4 957	5 155	5 362	5 576	5 799	6 031	6 272	6 523	6 784	7 055	7 338	7 631	7 936	8 254	8 584	8 927	9 284
MAINTENANCE																														
Contrat de maintenance (€TTC)	780	792	804	816	828	840	853	866	879	892	905	919	933	947	961	975	990	1 005	1 020	1 035	1 051	1 066	1 082	1 099	1 115	1 132	1 149	1 166	1 183	1 201
Charges d'exploitation (€TTC)	17 483	18 163	18 870	19 605	20 368	21 162	21 988	22 846	23 738	24 666	25 630	26 633	27 675	28 759	29 886	31 057	32 275	33 541	34 858	36 226	37 650	39 129	40 668	42 268	43 931	45 660	47 458	49 328	51 272	53 293
Dépenses annuelles	27 194	27 873	28 580	29 315	30 079	30 873	31 698	32 556	33 449	34 376	35 340	36 343	37 385	38 469	39 596	38 116	39 333	40 600	41 916	43 285	44 708	46 188	47 726	49 326	50 989	52 719	54 517	56 386	58 330	60 352
Dépenses annuelles cumulées	27 194	55 067	83 647	112 962	143 041	173 913	205 611	238 168	271 616	305 992	341 333	377 676	415 061	453 530	493 126	531 242	570 575	611 175	653 091	696 376	741 084	787 272	834 999	884 325	935 314	988 033	1 042 549	1 098 936	1 157 266	1 217 618

Investissement initial

Coût d'investissement	258 772 €TTC
Fonds chaleur	91 248 €
Durée amortissement subvention	15 ans
FCTVA	0 €
Montant emprunté à taux courant	258 772 €

Montant amorti sur 30 ans	165 600 €
Taux d'emprunt	3,00%
Annuités	8 449 €
Intérêts annuels	2 929 €

Montant amorti sur 15 ans	93 172 €
Taux d'emprunt	3,00%
Annuités	7 805 €
Intérêts annuels	1 593 €

Hypothèses d'indexation

Indexation du coût de l'énergie	4,0 %/an
Indexation des charges annuelles	1,5 %/an

Renouvellement PAC après 15 ans

Coût d'investissement	48 985 €TTC
FCTVA	8 035 €
Montant emprunté à taux courant	40 949 €
Durée de l'amortissement	15 ans

Taux d'emprunt	3,00%
Nombre d'annuités	15
Annuités	3 430 €
Intérêts annuels	700 €

Compte prévisionnel de fonctionnement

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15	Année 16	Année 17	Année 18	Année 19	Année 20	Année 21	Année 22	Année 23	Année 24	Année 25	Année 26	Année 27	Année 28	Année 29	Année 30
Amortissement investissement (€)	11 731	11 731	11 731	11 731	11 731	11 731	11 731	11 731	11 731	11 731	11 731	11 731	11 731	11 731	11 731	8 786	8 786	8 786	8 786	8 786	8 786	8 786	8 786	8 786	8 786	8 786	8 786	8 786	8 786	8 786
Intérêts (€)	4 522	4 522	4 522	4 522	4 522	4 522	4 522	4 522	4 522	4 522	4 522	4 522	4 522	4 522	4 522	3 629	3 629	3 629	3 629	3 629	3 629	3 629	3 629	3 629	3 629	3 629	3 629	3 629	3 629	3 629
Annuité (€)	16 254	16 254	16 254	16 254	16 254	16 254	16 254	16 254	16 254	16 254	16 254	16 254	16 254	16 254	16 254	12 415	12 415	12 415	12 415	12 415	12 415	12 415	12 415	12 415	12 415	12 415	12 415	12 415	12 415	12 415
Amortissement subvention	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	-6 083	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ELECTRICITE																														
Consommation d'électricité (kWh)	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212	26 212
Coût de l'électricité (€TTC/kWh)	0,2160	0,2246	0,2336	0,2430	0,2527	0,2628	0,2733	0,2842	0,2956	0,3074	0,3197	0,3325	0,3458	0,3597	0,3740	0,3890	0,4046	0,4207	0,4376	0,4551	0,4733	0,4922	0,5119	0,5324	0,5537	0,5758	0,5989	0,6228	0,6477	0,6736
Surpuissance abonnement électrique nécessaire (kVA)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Composante annuelle soutirage fixe (€TTC/kVA)	13,93	14,49	15,07	15,67	16,30	16,95	17,63	18,33	19,07	19,83	20,62	21,45	22,31	23,20	24,13	25,09	26,09	27,14	28,22	29,35	30,53	31,75	33,02	34,34	35,71	37,14	38,63	40,17	41,78	43,45
Surcoût soutirage fixe (€TTC)	347	361	376	391	406	423	439	457	475	494	514	535	556	578	601	625	650	676	704	732	761	791	823	856	890	926	963	1 001	1 041	1 083
Coûts de consommation annuelle d'électricité (€TTC)	6 009	6 249	6 499	6 759	7 030	7 311	7 603	7 908	8 224	8 553	8 895	9 251	9 621	10 006	10 406	10 822	11 255	11 705	12 173	12 660	13 167	13 693	14 241	14 811	15 403	16 019	16 660	17 327	18 020	18 740
MAINTENANCE																														
Contrat de maintenance (€TTC)	960	974	989	1 004	1 019	1 034	1 050	1 065	1 081	1 098	1 114	1 131	1 148	1 165	1 182	1 200	1 218	1 236	1 255	1 274	1 293	1 312	1 332	1 352	1 372	1 393	1 414	1 435	1 457	1 478
Charges d'exploitation (€TTC)	6 969	7 224	7 488	7 763	8 049	8 345	8 653	8 973	9 305	9 651	10 009	10 382	10 769	11 171	11 588	12 022	12 473	12 942	13 428	13 934	14 460	15 006	15 573	16 163	16 776	17 412	18 074	18 762	19 476	20 219
Dépenses annuelles	17 139	17 394	17 659	17 934	18 219	18 516	18 823	19 143	19 476	19 821	20 179	20 552	20 939	21 341	21 759	24 437	24 888	25 356	25 843	26 349	26 874	27 420	27 988	28 578	29 190	29 827	30 489	31 176	31 891	32 633
Dépenses annuelles cumulées	17 139	34 534	52 192	70 126	88 345	106 861	125 684	144 828	164 303	184 124	204 304	224 855	245 794	267 135	288 894	313 331	338 219	363 575	389 418	415 767	442 642	470 062	498 050	526 628	555 818	585 645	616 133	647 310	679 200	711 834
Economie annuelle par rapport à référence	10 054	10 479	10 921	11 381	11 860	12 357	12 875	13 413	13 973	14 555	15 161	15 791	16 446	17 128	17 837	13 679	14 446	15 243	16 073	16 936	17 834	18 767	19 739	20 749	21 799	22 892	24 028	25 210	26 440	27 718
Economie cumulée	10 054	20 533	31 455	42 836	54 695	67 052	79 927	93 340	107 313	121 868	137 029	152 820	169 267	186 395	204 232	217 911	232 356	247 599	263 673	280 609	298 442	317 210	336 948	357 697	379 496	402 388	426 416	451 626	478 066	505 784

Point d'équilibre
économique

Géothermie sur sondes verticales (échangeurs fermés)

Investissement initial

Coût d'investissement	249 496 €TTC
Fonds chaleur	102 379 €
Durée amortissement subvention	15 ans
FCTVA	0 €
Montant emprunté à taux courant	249 496 €

Montant amorti sur 30 ans	153 360 €
Taux d'emprunt	3,00%
Annuités	7 824 €
Intérêts annuels	2 712 €

Montant amorti sur 15 ans	96 136 €
Taux d'emprunt	3,00%
Annuités	8 053 €
Intérêts annuels	1 644 €

Hypothèses d'indexation

Indexation du coût de l'énergie		4,0 %/an
Indexation des charges annuelles		1,5 %/an

Renouvellement PAC après 15 ans

Coût d'investissement	48 985 €TTC
FCTVA	8 035 €
Montant emprunté à taux courant	40 949 €
Durée de l'amortissement	15 ans

Taux d'emprunt	3,00%
Nombre d'annuités	15
Annuités	3 430 €
Intérêts annuels	700 €

Compte prévisionnel de fonctionnement

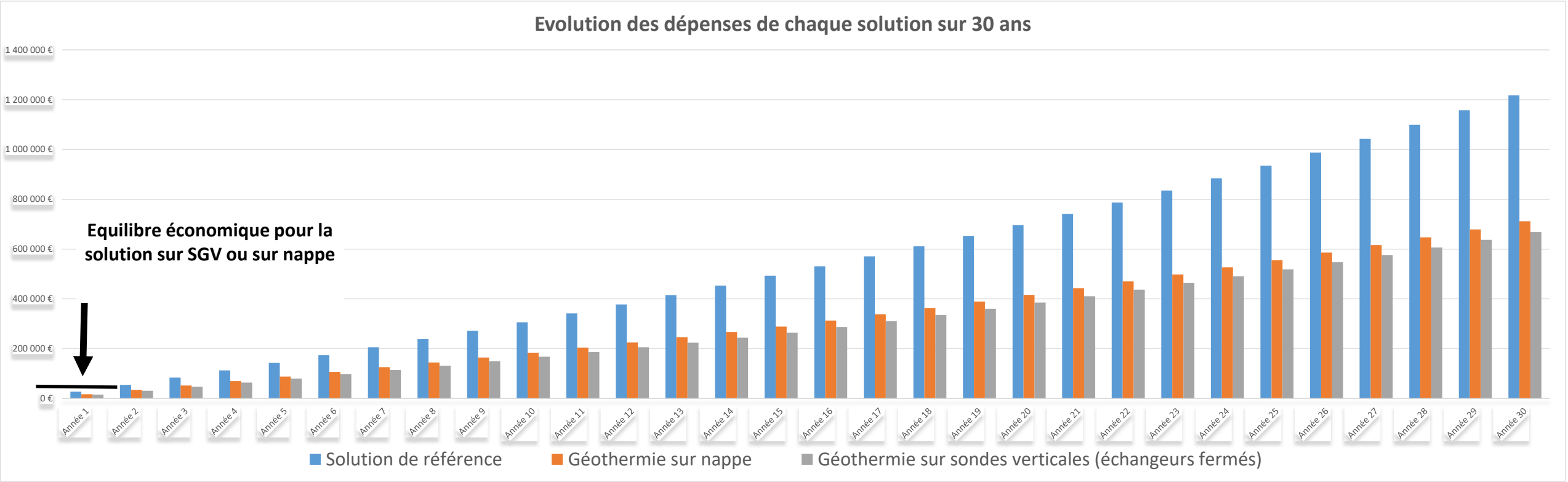
	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15	Année 16	Année 17	Année 18	Année 19	Année 20	Année 21	Année 22	Année 23	Année 24	Année 25	Année 26	Année 27	Année 28	Année 29	Année 30
Amortissement investissement (€)	11 521	11 521	11 521	11 521	11 521	11 521	11 521	11 521	11 521	11 521	11 521	11 521	11 521	11 521	11 521	8 378	8 378	8 378	8 378	8 378	8 378	8 378	8 378	8 378	8 378	8 378	8 378	8 378	8 378	8 378
Intérêts (€)	4 356	4 356	4 356	4 356	4 356	4 356	4 356	4 356	4 356	4 356	4 356	4 356	4 356	4 356	4 356	3 413	3 413	3 413	3 413	3 413	3 413	3 413	3 413	3 413	3 413	3 413	3 413	3 413	3 413	3 413
Annuité (€)	15 877	15 877	15 877	15 877	15 877	15 877	15 877	15 877	15 877	15 877	15 877	15 877	15 877	15 877	15 877	11 790	11 790	11 790	11 790	11 790	11 790	11 790	11 790	11 790	11 790	11 790	11 790	11 790	11 790	11 790
Amortissement subvention	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	-6 825	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ELECTRICITE																														
Consommation d'électricité (kWh)	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198	26 198
Coût de l'électricité (€TTC/kWh)	0,2160	0,2246	0,2336	0,2430	0,2527	0,2628	0,2733	0,2842	0,2956	0,3074	0,3197	0,3325	0,3458	0,3597	0,3740	0,3890	0,4046	0,4207	0,4376	0,4551	0,4733	0,4922	0,5119	0,5324	0,5537	0,5758	0,5989	0,6228	0,6477	0,6736
Surpuissance abonnement électrique nécessaire (kVA)	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Composante annuelle soutirage fixe (€TTC/kVA)	13,93	14,49	15,07	15,67	16,30	16,95	17,63	18,33	19,07	19,83	20,62	21,45	22,31	23,20	24,13	25,09	26,09	27,14	28,22	29,35	30,53	31,75	33,02	34,34	35,71	37,14	38,63	40,17	41,78	43,45
Surcoût soutirage fixe (€TTC)	358	372	387	403	419	436	453	471	490	510	530	551	573	596	620	645	671	697	725	754	784	816	848	882	918	954	993	1 032	1 074	1 116
Coûts de consommation annuelle d'électricité (€TTC)	6 017	6 257	6 508	6 768	7 039	7 320	7 613	7 918	8 234	8 564	8 906	9 263	9 633	10 018	10 419	10 836	11 269	11 720	12 189	12 677	13 184	13 711	14 259	14 830	15 423	16 040	16 681	17 349	18 043	18 764
MAINTENANCE																														
Contrat de maintenance (€TTC)	480	487	495	502	509	517	525	533	541	549	557	565	574	583	591	600	609	618	628	637	646	656	666	676	686	696	707	718	728	739
Charges d'exploitation (€TTC)	6 497	6 745	7 002	7 270	7 548	7 837	8 138	8 450	8 775	9 113	9 463	9 828	10 207	10 601	11 010	11 436	11 879	12 338	12 817	13 313	13 830	14 367	14 925	15 506	16 109	16 736	17 388	18 066	18 771	19 504

Dépenses annuelles	15 549	15 797	16 054	16 322	16 600	16 890	17 190	17 503	17 827	18 165	18 515	18 880	19 259	19 653	20 062	23 226	23 669	24 129	24 607	25 104	25 620	26 157	26 716	27 296	27 899	28 527	29 179	29 856	30 561	31 294
Dépenses annuelles cumulées	15 549	31 346	47 400	63 722	80 322	97 212	114 402	131 905	149 732	167 897	186 412	205 292	224 551	244 204	264 267	287 493	311 162	335 290	359 897	385 001	410 621	436 778	463 494	490 790	518 689	547 216	576 394	606 251	636 812	668 106

Economie annuelle par rapport à référence	11 645	12 077	12 526	12 993	13 478	13 983	14 508	15 054	15 621	16 211	16 825	17 463	18 126	18 816	19 533	14 889	15 665	16 471	17 310	18 181	19 088	20 031	21 011	22 030	23 090	24 192	25 338	26 530	27 769	29 058
Economie cumulée	11 645	23 721	36 247	49 240	62 718	76 701	91 209	106 263	121 884	138 096	154 921	172 384	190 510	209 326	228 859	243 749	259 413	275 884	293 194	311 375	330 463	350 494	371 505	393 535	416 625	440 817	466 155	492 685	520 454	549 512

Point d'équilibre
économique



Annexe 1 - Le contexte du marché géothermique

Contexte national

La stratégie de développement de la filière géothermie est intégrée à une politique nationale de maîtrise de l'énergie et de développement des énergies renouvelables avec un double objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de développement économique d'un nouveau secteur d'activité.

Les objectifs nationaux en la matière sont inscrits dans la loi du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (Grenelle I) et dans la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte :

Quelques objectifs des **Programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE)**, émis par le Ministère de la transition écologique et solidaire **pour 2023 et 2028** :

Energies renouvelables électriques : Augmentation de plus 50% de la capacité installée en 2023 et de 100% en 2028 par rapport à 2017 (soit 73,5 GW en 2023 et entre 101 et 113 GW en 2018)

Energies renouvelables chaleur : Augmentation de la consommation de 25% en 2023 et de 40 à 60% en 2028 par rapport à 2017 (soit 196 TWh en 2023 et entre 218 et 247 TWh en 2028)

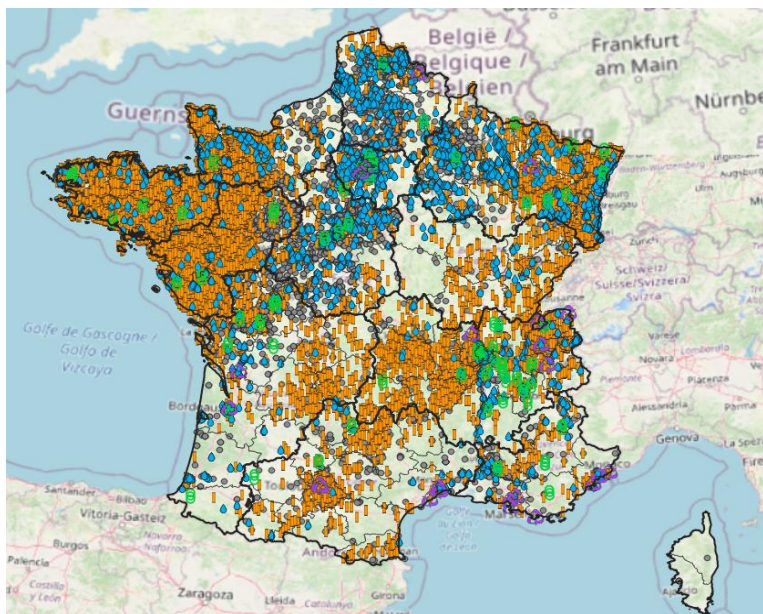
Consommation finale d'énergie : Baisse de 7,6% en 2023 et 16,5% en 2028 par rapport à 2012

Consommation primaire des énergies fossiles : Baisse de 22% en 2023 et de 35% en 2028 par rapport à 2012

Objectifs de consommation finale des filières de chaleur renouvelable

	2017	2023	2028 bas	2028 haut
Biomasse	120	145	157	169
PAC aérothermiques	23,5	35	39	45
PAC géothermiques	3,14	4,6	5	7
Géothermie profonde	2	3	4	5,2
Solaire thermique	1,18	1,75	1,85	2,5
Biogaz (dont biogaz injecté)	4	7	12	18
TOTAL	154	196	219	247

Installations géothermiques en France en 2022



Source : AFPG

Annexe 2 - Aspects techniques

1. Fonctionnement d'une installation géothermique de minime importance :

Un système géothermique de minime importance est un système permettant de capter la chaleur du sol et de la transférer vers le bâtiment à chauffer par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur tout au long de la saison de chauffe. En période estivale, le cycle de la pompe à chaleur peut être inversé afin de rafraîchir le bâtiment. Le rafraîchissement estival peut également être généré par un système de geo-cooling constitué d'un simple échangeur thermique (sans passer par la pompe à chaleur) entre des fluides caloporteurs circulant dans le sol et dans le bâtiment.

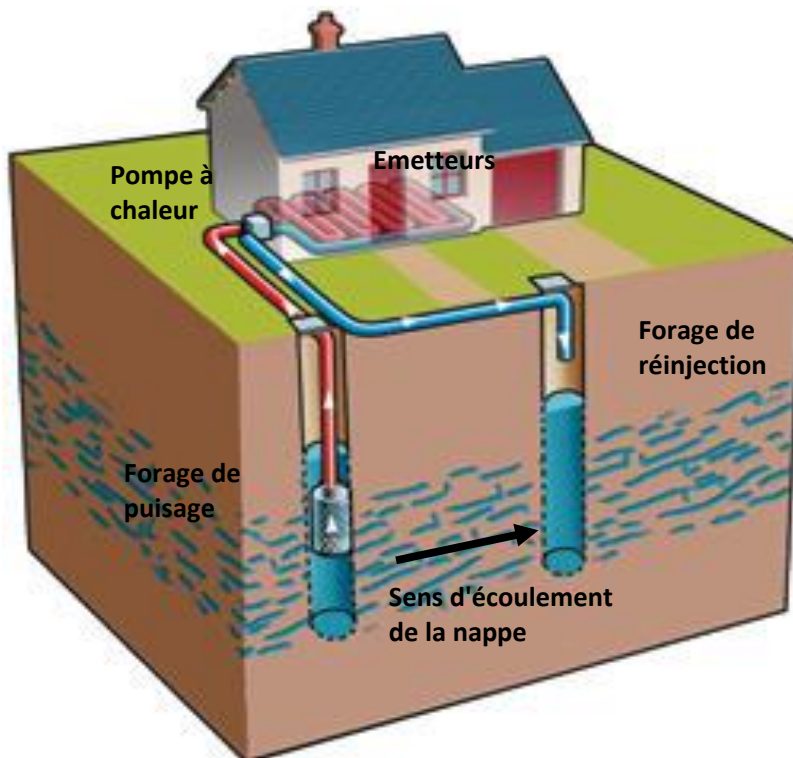
Les deux principaux systèmes géothermiques de minime importance sont:

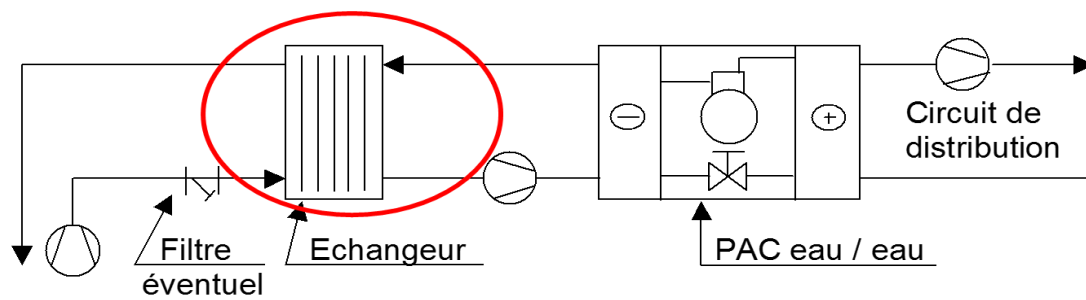
- les systèmes géothermiques sur nappe
- les systèmes géothermiques sur sondes géothermiques verticales (SGV)

2. Géothermie sur nappe

Le système est principalement composé des éléments suivants :

- d'un double forage (doublet) permettant le puisage et le rejet de l'eau souterraine dans la même nappe
- d'une pompe à chaleur
- d'émetteurs de chaleur (plancher chauffant, radiateurs basse température,...)
- d'accessoires hydrauliques assurant le bon fonctionnement du système (ballon tampon, circulateurs, vase d'expansion, collecteurs, pompe, échangeur...).





Rejet Puisage

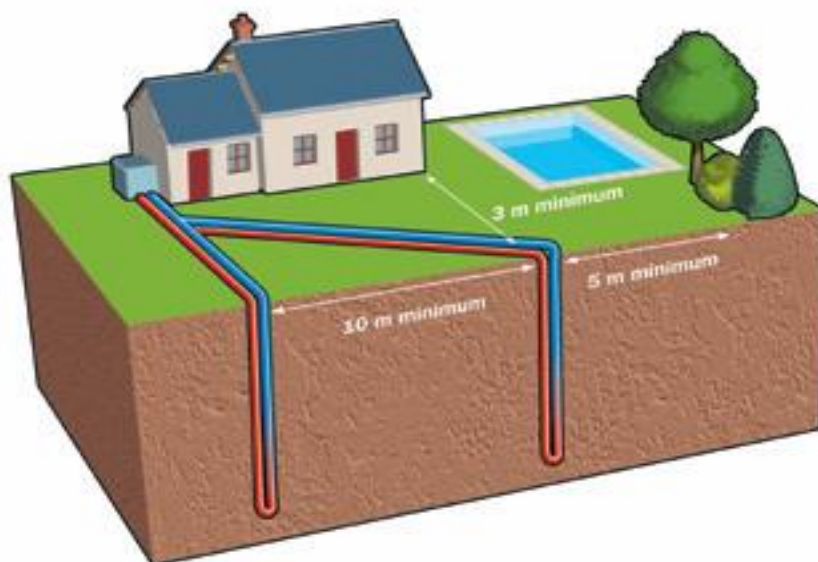
Un système géothermique sur nappe est considéré de minime importance s'il respecte les conditions suivantes:

- > profondeur d'installation supérieure à 10 m et jusqu'à 200 m
- > puissance soutirée du sous-sol inférieure à 500 kW
- > localisation en zone verte ou orange sur les cartes des zones d'aléas du sous-sol
- > température de l'eau puisée en sous-sol inférieure à 25 °C
- > prélèvement et une réinjection dans le même aquifère
- > aucun volume prélevé pour un usage autre (arrosage, consommation, agriculture, industrie...)
- > débit pompé inférieur à 80m³/h

3. Géothermie sur sondes géothermiques verticales

Le système est principalement composé des éléments suivants :

- d'un ou plusieurs forages de profondeur maximale de 200 m dans lesquels circule un fluide caloporteur (eau glycolée)
- d'une pompe à chaleur
- d'émetteurs de chaleur (plancher chauffant, radiateurs basse température,...)
- d'accessoires hydrauliques assurant le bon fonctionnement du système (ballon tampon, circulateurs, vase d'expansion, collecteurs, pompe, échangeur...).



Un système géothermique sur SGV est considéré de minime importance s'il respecte les conditions suivantes:

- > profondeur d'installation supérieure à 10 m et jusqu'à 200 m
- > puissance soutirée du sous-sol inférieure à 500 kW
- > localisation en zone verte ou orange sur les cartes des zones d'aléas du sous-sol

4. Fonctionnement d'une pompe à chaleur :

La pompe à chaleur géothermique permet de récupérer les calories du sol pour la réinjecter dans le bâtiment. La pompe à chaleur est composée de quatre composants à travers lesquels circule un fluide frigorigène:

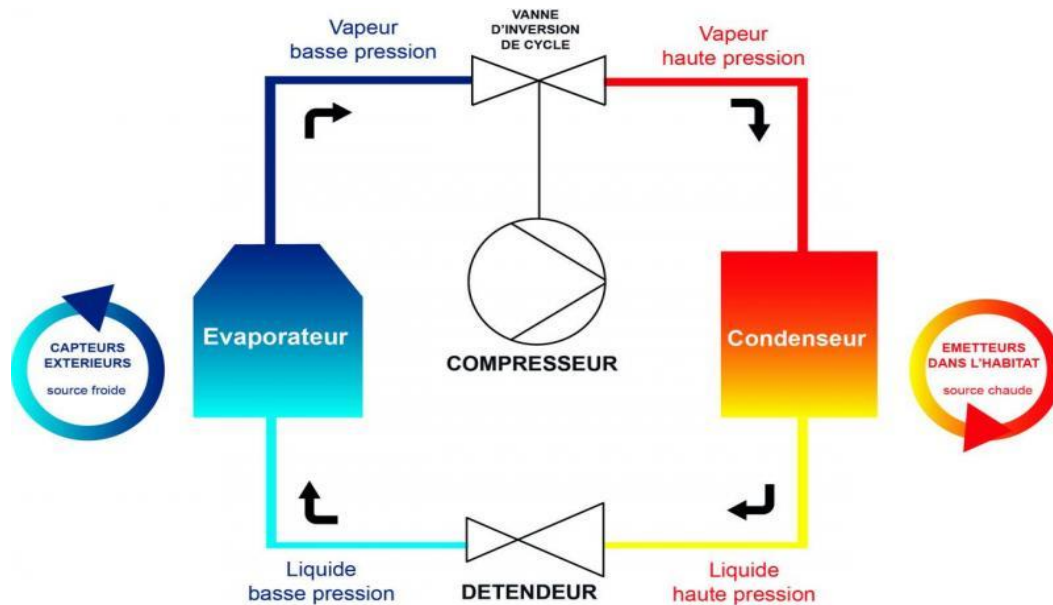
- un évaporateur
- un compresseur
- un condenseur
- un détendeur

L'évaporateur est un échangeur thermique dans lequel le fluide frigorigène récupérera la chaleur provenant du sous-sol

Le passage du fluide frigorigène dans **le compresseur** augmentera la pression et la température du fluide. La phase de compression nécessite une consommation d'électricité.

Le condenseur est un échangeur thermique dans lequel l'eau du circuit de chauffage récupérera la chaleur du fluide frigorigène.

Enfin, **le détendeur** baissera la pression et la température du fluide frigorigène qui reviendra à son état initial.



L'intérêt de la pompe à chaleur est qu'elle permet de restituer au bâtiment une énergie plus importante que la consommation électrique du compresseur. Le **coefficient de performance d'une pompe à chaleur (COP)** est le rapport entre l'énergie restituée au bâtiment et l'énergie électrique consommée.

Afin d'optimiser le COP, il est préférable :

- d'**isoler le bâtiment**
- de fonctionner avec des **émetteurs de chaleur basse température** (plancher chauffant ou radiateurs basse température)

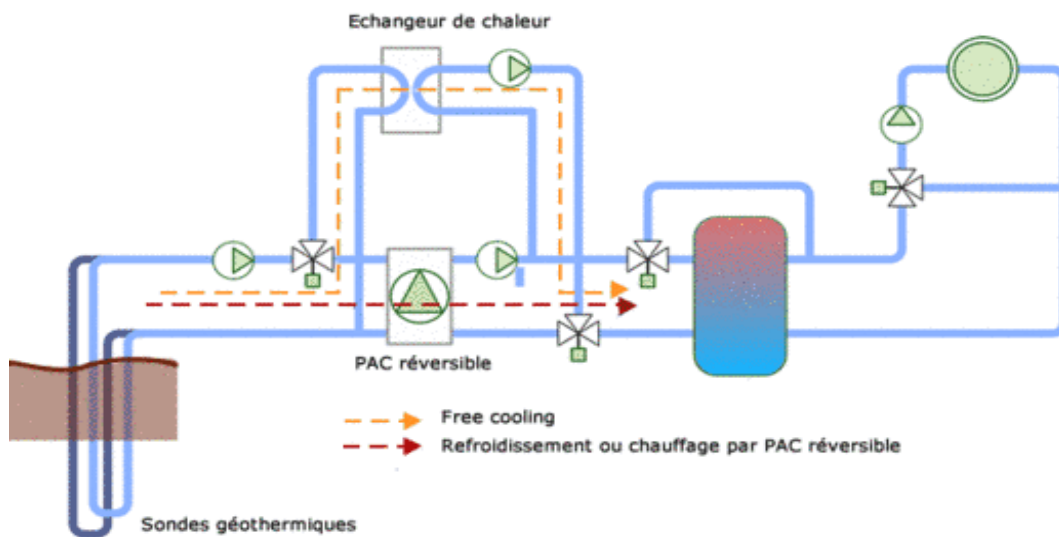
Remarque :

Sur beaucoup de PAC, il est possible d'inverser le cycle du fluide frigorigène. L'évaporateur prend alors la fonction du condenseur et le condenseur celle de l'évaporateur. Cela permet de générer un rafraîchissement du bâtiment.

5. Principe de fonctionnement du geocooling

Le principe du geocooling est de permettre en rafraîchissement de quelques degrés dans le bâtiment sans l'utilisation de la pompe à chaleur. Ce type de rafraîchissement est peu énergivore.

L'eau circulant dans le circuit de "chauffage" du bâtiment est directement refroidie par l'eau glycolée circulant sous terre dans les sondes géothermiques.



5. La boucle d'eau tempérée géothermique (BETG)

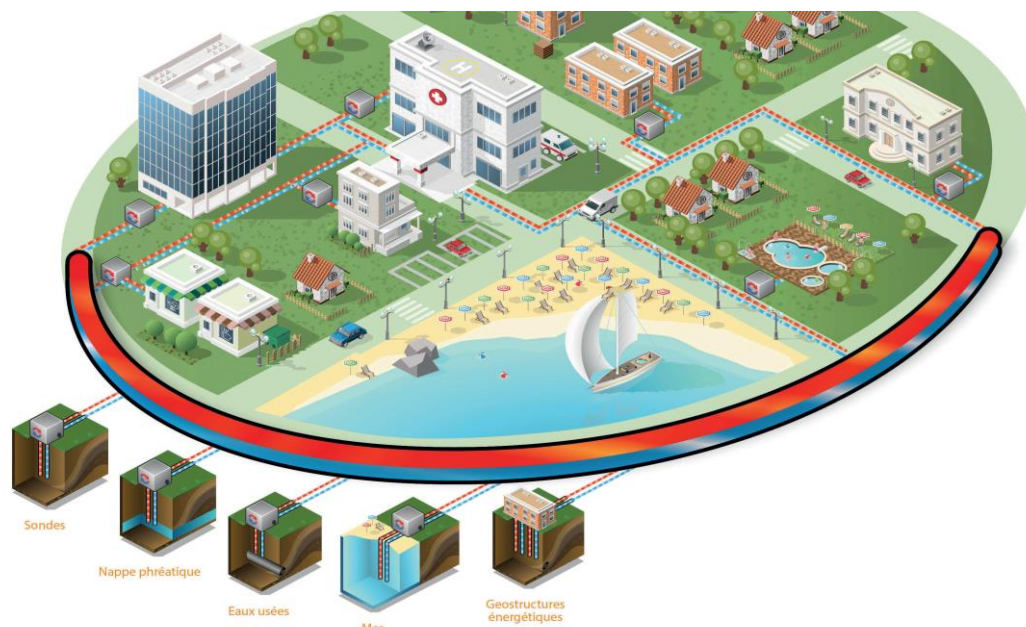
La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique dite « BETEG » est assimilée à un réseau de chaleur.

Elle est constituée :

- D'un dispositif de captage (ressource géothermique),
- D'un dispositif de mutualisation (boucle d'eau tempérée),
- D'un dispositif de production (Thermopompes ou PACs Géothermiques eau/eau),
- D'un dispositif de régulation.

L'ensemble de ces 4 dispositifs représente le système énergétique constituant la boucle d'eau tempérée à énergie géothermique : BETEG.

La BETEG est un dispositif innovant basé sur une distribution de l'énergie thermique via le principe d'un réseau d'eau tempérée unique.



Elle se compose d'un réseau d'eau tempérée alimenté par une ou plusieurs ressources géothermiques couplées à des productions décentralisées.

Elle repose sur une distribution à basse pression d'une eau à très basse température (généralement inférieure à 30°C) ce qui caractérise la notion d'eau tempérée distribuée dans le réseau.

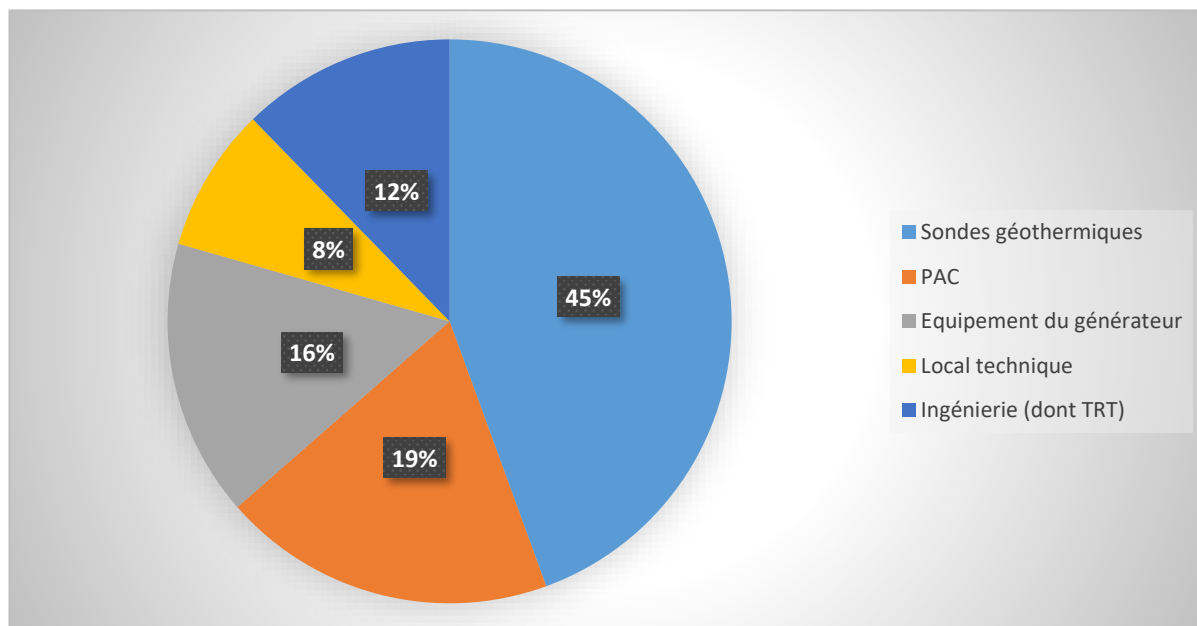
Ce réseau d'eau à très basse température alimente des sous-stations équipées de thermopompes eau/eau (PAC Géothermique). Ces équipements de production décentralisée (PACs Géothermiques) permettent une production de chaud, pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire (ECS), et de froid par bâtiment ou îlots de bâtiments. Le montage en « thermofrigopompe » de ces pompes à chaleur permet de répondre simultanément aux besoins de chaud et de froid en aval de la sous-station.

La BETEG peut être définie à partir du moment où est mise en oeuvre une solution énergétique alimentant :

- A minima, deux bâtiments de typologies différentes (par exemple logement et tertiaire) ou bien identiques,
- Au plus, un quartier (bâtiments ou îlots) à l'échelle d'une ZAC.

Annexe 3 - Aspects économiques

Exemple de répartition des coûts d'investissement d'une installation



Annexe 4 - Règlement aides financières

Les porteurs de projets géothermiques sur sondes géothermiques verticales ou sur nappe peuvent solliciter des aides financières auprès de l'Ademe dans le cadre du Fonds Chaleur.

1. Etude de faisabilité

Les études de faisabilité bénéficient d'un financement jusqu'à 70% par l'Ademe. Pour cela, elles doivent :

- Respecter le cahier des charges Ademe
- Associer un BE fluides et un BE hydrogéologique dont au moins l'un des deux a une qualification OPQIBI pour la mise en œuvre d'installation de géothermie (10.07 ou 20.13)

2. Aides à l'investissement

Conditions générales :

- Respecter la réglementation thermique en vigueur sur les bâtiments
- Mettre en place une instrumentalisation assurant le suivi de fonctionnement des installations
- Souscrire un contrat d'entretien

Conditions spécifiques sur nappe :

- Production minimum de 25MWh ENR¹/an
- Nombre d'heures équivalentes de fonctionnement à puissance nominale de la PAC > 1000h/an recommandé
- COP machine > 4,5 dans les conditions d'essais au régime de température 10/7°C - 30/35°C

Conditions spécifiques sur SGV :

- Production minimum de 25MWh ENR/an
- Nombre d'heures équivalentes de fonctionnement à puissance nominale de la PAC > 1000h/an recommandé
- COP machine > 4 dans les conditions d'essais au régime de température 0/-3°C - 30/35°C

Conditions spécifiques geocooling :

- Production minimum de 25MWh ENR/an
- Coefficient de performance SEER > 20

Montant des aides (production < 500 MWh ENR/an)

Technologie	Aide en €/MWh EnR/an (sur 20 ans)
Pompe à chaleur sur eau de nappe	25 €/MWh EnR
Pompe à chaleur sur sondes géothermiques verticales	50 €/MWh EnR
Géocooling	13 €/MWh EnR