climaxion
anticiper • économiser • valoriser

Soutien à la filière Géothermie

Cahier des charges
des études de faisabilité préalables

Installation en géothermie de surface

Version du document : 2.0
Date du document : 02/10/2024

La Région Grand Est et l'État accélèrent la transition énergétique

climaxion
anticiper • économiser • valoriser

Financé par :

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

La Région Grand Est

Objectifs de l'étude

L'étude de faisabilité doit apporter au porteur de projet les éléments techniques, économiques, réglementaires et environnementaux lui permettant de se projeter sur la faisabilité d'une telle opération. Elle requiert des compétences en sous-sol (hydrogéologie) et en thermique et a donc pour objectifs de :

- Présenter l'historique du projet et les acteurs en présence ;
- Proposer des actions d'améliorations énergétiques du bâti ou du process étudié ;
- Vérifier la faisabilité technique et économique du projet d'implantation d'une géothermie de surface (inférieur à 200m de profondeur) ;
- Vérifier la compatibilité du projet avec le schéma directeur d'Aménagement et de Gestion des eaux (SDAGE) plus particulièrement sur les bassins pour lesquels ce SDAGE définit des nappes réservées à l'eau potable et des dispositions particulières relatives à la géothermie
- Proposer des solutions techniques adaptées au contexte et aux possibilités qu'offre le site et la géologie peu profonde ;
- Comparer des solutions géothermies à d'autres possibilités en termes d'investissement et d'exploitation ;
- Assurer la pérennité du fonctionnement d'une installation de géothermie et de sa capacité de régénération ;
- Proposer des solutions pour le financement de l'opération et le montage juridique.

L'étude sera de niveau Avant-Projet Simplifié -APS- pour la partie technique (hors bâtiments) avec approche des résultats à plus ou moins 10 %. Une pré-consultation d'entreprises est nécessaire (pour la partie forage et chaufferie) afin d'atteindre ce résultat. Une attention particulière devra être accordée à l'identification des ressources géothermales.

Les conclusions de cette étude, si elles sont favorables, ainsi que les choix réalisés par le maître d'ouvrage constitueront ensuite les bases du programme d'appel d'offre pour la maîtrise d'œuvre et la réalisation du projet.

En complément de l'étude de faisabilité, une fiche-projet (téléchargeable sur le site Climaxion.fr) sera obligatoire pour toute demande d'aide à l'investissement dans le cadre du programme Climaxion.

Cette fiche-projet devra être rédigée en cohérence avec l'équipement proposé par le prestataire qui justifiera la demande d'aide à l'investissement.

SOMMAIRE

I. Historique et contexte du projet 4
II. Etude des besoins énergétiques 4
III. Caractérisation des ressources géothermiques 5
1. Géothermie sur nappes 5
2. Géothermie sur champ de sondes / corbeilles / géostructures 6
3. Géothermie sur eaux usées 6
IV. Etude de dimensionnement 7
1. Descriptif de la solution géothermie et appoint éventuel 7
2. Bilans énergétiques 10
3. Bilan environnemental 10
4. Schéma de principe de la chaufferie et du système géothermique 10
V. Etude économique et financière 11
1. Coûts d'investissements liés à la solution géothermique 11
2. Coûts d'exploitation prévisionnels de la solution géothermique 11
3. Bilan économique comparatif entre les deux solutions (géothermie – référence) 11
4. Plan de financement proposé 12
VI. Délai et modalité de réalisation de l'étude de faisabilité 13
VII. Rappel des éléments à fournir par le prestataire 13
VIII. Liste des annexes 14

I. Historique et contexte du projet

L'étude doit comporter les éléments suivants :

1. Informations générales :
   - Situation et coordonnées du maître d'ouvrage
   - Responsable du projet (fonction et coordonnées)
   - Partenaires et associés (collectivités, organismes publics, industriels, …)
   - Bureaux d'études chargés de l'étude de faisabilité avec numéro de qualification
   - Contexte du projet

2. Périmètre concerné par l'opération :
   - Description détaillée du ou des bâtiments actuels et futurs et de leur environnement proche
   - Usage et occupation du ou des bâtiments
   - Propriétaire(s) des bâtiments
   - Année de construction et éventuellement de réhabilitation
   - Projets de rénovation énergétique des bâtiments étudiés (importance et planning)

II. Etude des besoins énergétiques

La faisabilité technico-économique d'une installation de géothermie passe par l'analyse des usages liés à cette installation et les actions d'économies d'énergie envisageable.

⇨ **Déterminer les caractéristiques générales des bâtiments, existants et futurs :**

- Caractéristiques thermiques et données techniques de base des bâtiments
  - Surfaces, volumes, orientation, isolation, travaux à réaliser, déperditions thermiques…

- Caractéristiques et état d'usage des installations de chauffage / froid / ECS
  - Puissance, consommations en kWh/an, rendement, âge des chaudières, énergies utilisées, réseaux de chaleur…

- Description par bâtiment des réseaux de distribution de chauffage
  - Type d'émetteur, température intérieure recommandée, programmation, régulation…

- Détermination des besoins énergétiques prévisionnels annuels
  - Besoin de chauffage / froid / ECS

- Comparatif thermique de ces bâtiments
  - Par rapport à la RT en vigueur pour les bâtiments neufs
  - Par rapport à des ratios connus pour des bâtiments existants

- Courbe monotone des puissances
  - Chauffage, froid et ECS appelées sur l'année

⇨ **Réaliser une synthèse sous forme de tableau récapitulatif des puissances installées, des besoins et des consommations d'énergie.**

⇨ **En fonction des caractéristiques des bâtiments définies ci-dessus, déterminer :**

- Les bâtiments présentant un niveau de performance faible
- Globalement les travaux d'isolation ou de rénovation les plus importants à mettre en œuvre
- Les avantages à réaliser de tels travaux pour le maître d'ouvrage et pour le projet (puissance calorifique / frigorifique nécessaire, incidences sur le forage son coût)
- Les conséquences des rénovations futures qui seront nécessairement entreprises à plus ou moins long terme (surpuissance en chaufferie, puissance rendue disponible, extensions de réseau envisageables, …)
- La puissance totale à installer et à ventiler par type de production (PAC, appoint).
- Prise en compte d'améliorations réalisables ou programmées en matière de maîtrise de l'énergie

III. Caractérisation des ressources géothermiques

Les études hydrogéologiques et géologiques seront réalisées par un bureau d'études ayant des compétences sous-sol.
Qualification requise obligatoire : 20.13 / 10.07 ou équivalent, certifié ou en cours de certification.
Les études seront basées principalement sur une étude bibliographique, qui pourra être complété par un forage test si le bureau d'étude le juge nécessaire pour ajuster les chiffres et lever toute incertitude. Ce forage test pourra faire l'objet d'un cofinancement supplémentaire.

En fonction des solutions géothermiques envisagées, l'étude de faisabilité présentera à minima :

1. Géothermie sur nappes

- Le contexte réglementaire sous-sol (par exemple cartes réglementaires liées au cadre de la géothermie de minime importance, …)
- L'analyse du contexte géologique en tenant compte des forages à proximité et en utilisant la base de données des forages existants (banque BSS, …) ;
- Le choix de l'horizon géologique,
- La coupe géologique prévisionnelle (profondeurs, épaisseurs, stratigraphie, …)
- Les caractéristiques hydrogéologiques du réservoir (perméabilité, porosité, transmissivité, pression statique, piézométrie, température, débits, productivité, rabattement…)
- Les caractéristiques hydrochimiques du fluide (viscosité, salinité, point de bulle, …,)
- Le recensement des sites de forages potentiels (carte)
- La qualité physico-chimique générale de la nappe

- La justification de l'implantation et de l'écartement des puits de forage selon le sens d'écoulement de la nappe et afin d'éviter le recyclage thermique entre puits de prélèvement et puits de réinjection.

2. Géothermie sur champ de sondes / corbeilles / géostructures

- Le contexte réglementaire sous-sol (par exemple cartes réglementaires liées au cadre de la géothermie de minime importance, …)

- L'analyse du contexte géologique en tenant compte des forages à proximité et en utilisant la base de données des forages existants (banque BSS, …)

- La coupe géologique prévisionnelle (profondeurs, épaisseurs, stratigraphie, …)

- Les caractéristiques thermiques estimées du sous-sol (température initiale, conductivité thermique …)

Une vigilance particulière sera apportée aux zones karstiques et aux zones présentant des risques de dissolution ou de retrait-gonflement (argiles, évaporites), à la présence de failles au droit du site, à la qualité de cimentation (retour en surface du ciment, densité du ciment, cimentations complémentaires) et à l'isolation des aquifères traversés.

Que ce soit pour les **opérations sur nappes superficielles ou sur champ de sondes** géothermiques, les forages devront être conçus et réalisés selon les normes en vigueur :
- forages d'eau (NFX 10-999)
- forages de sondes (NFX 10-960-1, NFX 10-960-2, NFX 10-960-3, NFX 10-960-4, et NFX 10-970, norme qui impose notamment une **cimentation totale** sur la profondeur du forage).

3. Géothermie sur eaux usées

- Le contexte réglementaire lié à l'exploitation de la ressource

- Type d'équipement générant les eaux usées
  - Contexte d'usage de l'équipement
  - Implantation
  - Propriété
  - Modalités de récupération

- L'analyse du contexte démographique et les perspectives d'évolutions de la ressource en eaux usées

- Les caractéristiques physico-chimique des eaux

- Les caractéristiques thermiques des eaux et l'évolution annuelle de la température

- L'évolution annuelle du débit d'eau disponible

- Mise en évidence de l'adéquation entre la ressource et les besoins thermiques annuelles

IV. Etude de dimensionnement

Les équipements proposés pour la solution géothermie et la solution de référence seront justifiés par les résultats de l'étude des besoins thermiques.

L'étude devra rappeler l'importance du recours à un des émetteurs basses températures et proposer une solution technique en ce sens, notamment pour l'attente du COP minimal requis (voir ci-dessous).

Il est à la charge du bureau d'étude de signaler, le cas échéant, la nécessité de réaliser un forage test avec :

- Test de pompage pour les opérations sur nappe
- Test de réponses thermique pour les opérations sur sondes ou géostructures

Ce forage test pourra faire l'objet d'un cofinancement supplémentaire.

1. Descriptif de la solution géothermie et appoint éventuel

a) Caractéristiques du système de chauffage et/ou de froid par PAC géothermique

- Puissance calorifique et frigorifique PAC
- Puissance électrique compresseur
- Nombre d'heures de fonctionnement et Nombre d'Heures Equivalent Pleine Puissance (NHEPP)
- COP annuel système (valeur moyenne du COP système sur l'année) selon les définitions rappelées en *Annexe 3*.
- COP machine pour les PAC destinées au chauffage ou au chauffage et à la production d'ECS

Pour rappel, pour être éligible aux aides Climaxion à l'investissement :

- **PAC sur nappe : COP supérieur ou égale 4,5**
- **PAC sur sondes : COP supérieur ou égale 4**

- SCOP global annuel estimé minimum de 3 : Ce SCOP inclut la consommation du compresseur de la PAC et des auxiliaires
- Pour les PAC destinées à la production de froid :
  - EER machine égal ou supérieur à 3,6 pour les PAC « électriques »
  - SEER global annuel estimé minimum de 3,3 dans les conditions d'application du projet : le SEER global annuel inclut la consommation électrique du compresseur de la PAC et des auxiliaires de l'installation
- Taux de couverture des besoins par la (les) PAC.

Tout élément complémentaire permettant de justifier du choix de dimensionnement.

b) Caractéristiques des forages sur nappe

- Débits prévisionnels d'exploitation (débit max et débit moyen annuel)
- Courbe débit avec pompage (fonction de la puissance électrique)
- Puissance des auxiliaires et énergies consommées par ces auxiliaires (pompes de circulation)
- Niveau statique
- Puissance de la pompe immergée de forage
- Température fond et tête de puits
- Pression en tête et en réinjection
- Précautions prises pour ne pas altérer la nappe par le fluide frigorigène de la PAC, ou caractéristiques de l'échangeur placé entre la nappe et la PAC (échangeur de barrage).

Si cela n'a pas déjà été effectué lors du forage test en phase étude, deux types de pompages d'essai seront réalisés à la suite de forage des puits (puits de production et puits de réinjection) nécessaires à l'installation :
- L'essai de puits ou essai par palier permet de définir les caractéristiques hydrauliques du forage par l'intermédiaire de sa courbe caractéristique.
- L'essai de nappe ou essai de longue durée a pour but de tester l'aquifère et d'en déterminer les caractéristiques hydrauliques (transmissivité, …).

c) Caractéristiques du champ de sondes géothermiques

- Nombre de sondes géothermiques
- Profondeur des sondes
- Longueur totale forée et mètre-linéaire de sonde
- Type de sonde (simple U, double U, ...) et espacement moyen entre sondes
- Diamètre extérieur des tuyaux
- Puissance prélevée au sous-sol
- Prévision de sol rencontré et ratio de puissance prélevée en W/ml de sonde,

Pour les opérations de PAC sur champ de sondes dont la longueur totale de sondes dépasse les 1000 mètres linéaires, l'étude du sous-sol sera complétée par un test de réponse thermique du terrain (TRT) réalisé sur une sonde test et d'une simulation thermique dynamique sous-sol et surface (géomodélisation)[1] afin d'optimiser le dimensionnement du champ de sondes et valider le maintien des performances énergétiques dans le temps. Cette étape permettra également de définir la nature exacte des matériaux présents dans le sous-sol, la présence éventuelle et l'importance de la nappe, ainsi que les propriétés thermiques du site. Elle peut nécessiter qu'un ou plusieurs forages test soient effectués.
Pour les opérations dont la production reste inférieure ou égale à 50 MWh EnR/an, la réalisation d'un TRT et d'une géomodélisation n'est pas obligatoire mais peut être conseillée selon le contexte sous-sol au droit du projet.

[1] *géomodélisation réalisée à partir des* ***logiciels FEFLOW****, EED,* ***TRNSYS*** *ou* ***logiciel*** *équivalent https://plateforme-geothermie.brgm.fr/fr/page/outil-dimensionnement.*

d) Caractéristique d'une installation en échangeurs compacts

- Nombre de corbeilles et/ou de murs
- Dimension des capteurs et le diamètre des tuyaux
- Profondeur d'installation (point bas)
- Prévision de sol rencontré et puissance soutirée par capteur
- Ecartement entre les capteurs
- Marque et modèle de l'équipement envisagé
- Tout autre information importante propre à la solution envisagée

e) Caractéristiques communes à tout type de géothermie

- Schéma d'implantation des sondes ou des puits de forage (production et réinjection) avec mention du sens d'écoulement de la nappe

- Régime de températures retenu (évaporateur, condenseur PAC)

- Ballon tampon en sortie condenseur PAC (le cas échéant)

- Système d'émetteurs de chaleur/froid retenu avec pour chaque type d'émetteurs le régime de température associé

- Rendement des échangeurs de chaleur (le cas échéant)

- Système de production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) éventuel

- Système de production de froid, le cas échéant

- Caractéristiques de l'appoint éventuel en chaud et/ou froid (combustible utilisé, puissance thermique installée, rendement, raccordement hydraulique et régulation)

- Instrumentation et gestion de l'installation (T int. ; T ext.) : définition des équipements de mesures nécessaires et appropriés aux différents modes de fonctionnement possibles de l'installation : chauffage, rafraîchissement, géocooling, préchauffage d'ECS

- Régulation (cascade, moteur à vitesse variable, …) : description des modes de fonctionnement de l'installation

- Nombre d'heures de fonctionnement et Nombre Heures Equivalentes Pleine Puissance (NHEPP)

- Monotone de chauffe faisant apparaitre :
  - Nombre d'heures de fonctionnement et puissance de la géothermie
  - Nombre d'heures de fonctionnement et puissance de la solution d'appoint

- Monotone de refroidissement faisant apparaitre :
  - Nombre d'heures de fonctionnement et puissance de la géothermie
  - Nombre d'heures de fonctionnement et puissance en mode géocooling (le cas échéant)

La mise en place d'un suivi des performances de l'installation PAC géothermique est impérative et conditionne l'octroi d'une aide financière éventuelle de Climaxion au Maître d'ouvrage.

f) Descriptif de la solution de référence

La solution de référence sera définie comme étant la solution de production de chaleur et/ou de froid à partir d'énergie dite traditionnelle **couvrant les mêmes besoins thermiques que la solution géothermique** (chaudière au gaz naturel ou propane et/ou groupe froid aérothermique)**.**

- Puissance thermique ou frigorifique
- Combustible/énergie utilisé(e)
- Rendement PCI ou COP/EER

2. Bilans énergétiques

Le tableau des bilans énergétiques devra être complété, suivant ce modèle proposé :

BILAN ANNUEL	Besoins utiles	Solution géothermique (PAC + appoint éventuel)					Solution référence	
		Consommations			Production		Consommations	
	(MWh)	PAC* (MWh_{ef})	Auxiliaires** (MWh_{ef})	Appoint (MWh_{ef})	PAC (MWh_{ef})	Appoint (MWh_{ef})	Combustible (MWh_{ef})	Electricité (MWh_{ef})
Chauffage								
ECS								
Froid***								
Total								

* 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 (géocooling ou freecooling), l'indiquer clairement

3. Bilan environnemental

Evaluation de l'impact sur l'environnement :

- Gains en MWh/an apportés par la PAC par rapport à la situation existante et par rapport à la solution de référence
- Réduction des émissions de CO2 en tonne/an par rapport à la situation existante et par rapport à la solution de référence.

4. Schéma de principe de la chaufferie et du système géothermique

Présentation du système dans son ensemble :

- Schéma d'implantation en chaufferie
- Schéma de principe des installations et raccordements hydrauliques
- Plan de masse de l'implantation des forages / enfouissement géothermiques

V. Etude économique et financière

1. Coûts d'investissements liés à la solution géothermique

Détermination des investissements poste par poste :

- Géothermie sur nappe : Forage, pompes, crépines, essais
- Géothermie sur sondes : sondes géothermiques (forages et essais inclus) et pompes de circulation des sondes géothermiques.
- PAC, thermofrigopompe et/ou échangeur
- Local technique (génie civil dédié)
- Régulation
- Système de production d'eau chaude sanitaire
- Système de chauffage d'appoint
- Système de production de froid
- Instrumentation et monitoring
- Emetteurs de chaleur et réseau de distribution
- Ingénierie, conception et réalisation

2. Coûts d'exploitation prévisionnels de la solution géothermique

Détermination des consommations énergétiques annuelles et des dépenses afférentes (détail des postes P1 et P'1) :

- De la (ou des) PAC
- Du système de production d'ECS éventuel
- Du système d'appoint de chauffage/froid éventuel
- Des pompes de circulation (hors pompes côté distribution)
- Des pompes de forage
- Préciser le type d'abonnement et le tarif énergétique retenu

Détermination des frais prévisionnels de conduite et de petit entretien (poste P2)

Détermination des frais prévisionnels de gros entretien et réparation (poste P3)

Déterminer également les **coûts d'investissements et d'exploitation de la solution de référence**.

3. Bilan économique comparatif entre les deux solutions (géothermie – référence)

L'analyse économique du projet doit utiliser :

- Des valeurs standard pour les paramètres clefs dont : taux d'actualisation, taux d'emprunt, scénario d'évolution des prix des énergies
- Des indicateurs économiques classiques (Valeur Actualisée Nette, Temps de Retour sur Investissement, Taux de rentabilité interne).

Le résultat de cette analyse économique sera exprimé en temps de retour actualisé.

L'analyse économique doit permettre également d'estimer **le coût global de la chaleur et/ou du froid produit par la solution géothermique au regard de la solution de référence (en €/MWh)**.

Si l'analyse économique est basée sur des hypothèses économiques différentes, ce choix devra être justifié.

La comparaison devra être présenté à la fois sous la forme :

- D'un tableau présentant les différents scénarios et la solution de référence (modèle présenté en ***annexe 1)***

- D'un graphique des coûts cumulés sur minimum 25 ans

- Du tableau de synthèse de l'étude (modèle présenté en ***annexe 2)***

Cas spécifiques des entreprises : le soutien aux études et aux investissements s'inscrit dans le **régime cadre exempté de notification n°SA 111726** relatif aux aides en faveur de la protection de l'environnement sur la période 2024-2026.

La dépense subventionnable est constitué des dépenses éligibles auxquelles sera déduite une **solution de référence** conformément à ce régime.

4. Plan de financement proposé

Démarchage auprès des différents financeurs pour les solutions retenues afin de déceler le mode de financement le plus satisfaisant.

Les points suivants seront envisagés :

Montages financiers préconisés avec leurs coûts et leurs avantages :

- Autofinancement
- Location
- Tiers investissement avec/sans garantie de résultat
- Crédit-bail
- Emprunt
- Autres

Aides possibles d'organismes publics, européens :

- Subventions, notamment Climaxion / Fonds Chaleurs
- Prêts
- Autres incitations

S'il le souhaite, le maître d'ouvrage aura la possibilité de souscrire à la garantie « Recherche » AQUAPAC gérée par la SAF-Environnement[2], notamment s'il y a une incertitude sur la ressource en eau exploitable. AQUAPAC est une assurance qui couvre les risques géologiques liés à la possibilité d'exploitation énergétique d'une ressource aquifère située en général à moins de 200 m de profondeur, puis au maintien de ses capacités dans le temps. Cette assurance s'applique aux installations utilisant des pompes à chaleur d'une puissance thermique supérieure à 30 kW.

[2] Plaquette AQUAPAC et Dossier de demande de garantie disponibles sur : https://www.geothermies.fr/les-garanties#aquapac

VI. Délai et modalité de réalisation de l'étude de faisabilité

Le maître d'ouvrage précisera le délai de réalisation de l'étude souhaité.

Une copie de l'étude sera envoyée aux services de la Région et/ou de l'ADEME en charge du projet avant le rendu final au maître d'ouvrage.

Le prestataire de l'étude informera les services de la Région et/ou de l'ADEME en charge du dossier de la date de la réunion de rendu.

VII. Rappel des éléments à fournir par le prestataire

L'étude de faisabilité devra comprendre les éléments suivants :

- Tableau des besoins énergétiques des bâtiments concernés (chapitre III)
- Tableau récapitulatif des investissements (chapitre V.1)
- Tableau économique (chapitre V.3)
- Grille de synthèse des résultats de l'étude (chapitre V.3)
- Schéma de principe de l'installation de chauffage (chapitre IV.5)
- Plan de masse de l'implantation de la chaufferie, et éventuel et des réseaux de chaleur / Boucle d'eau tempérée (chapitre IV.5)
- Liste des fournisseurs de matériel et des foreurs contactés
- Liste des installations semblables
- Rapports de forages et des tests effectués, le cas échéant

VIII. Liste des annexes

A compléter :

Annexe 1 : Tableau économique

Annexe 2 : Grille de synthèse des résultats de l'étude

Pour information :

Annexe 3 :
Définition des différents Coefficients de Performance des installations de PAC géothermiques

Annexe 1 : Tableau économique

		Solution de référence	Solution géothermie 1	Solution géothermie 2
Coût global des investissements	€TTC			
Consommation énergie	kWh/an			
Energie prélevée au sous-sol	kWhEnR/an			
Coût fourniture d'énergie (€TTC/an)				
PAC (solution géothermie)				
Auxiliaires (solution géothermie)				
Abonnement				
TOTAL P1				
Coût exploitation et maintenance (€TTC/an)				
Chaufferie				
Forage				
TOTAL P2				
Coût pour entretien et réparation (€TTC/an)				
Chaufferie				
Forage				
TOTAL P3				
TOTAL P4 (€TTC)				
Vente de chaleur / froid (le cas échéant)				
kWh / an € HT / an T.V.A.				
Subventions				
Climaxion ADEME-Région				
Autres 1 : ……				
Autres 2 : ……				
TOTAL SUBVENTIONS (€)				
Temps de retour sur investissement				
Sans subvention				
Avec subvention				
Coût global d'exploitation				
20 ans				
25 ans				

Annexe 2 : Grille de synthèse des résultats de l'étude

Maître d'ouvrage :

Bureau d'étude :

		Solution de référence	Solution géothermie 1	Solution geothermie 2
Bâtiments concernés				
Puissance calorifique	kW			
Consommation d'énergie	kWh/an			
Energie tirée du sol	kWhEnR / an			
Autre(s) combustible(s) d'appoint (gaz / FOD …)				
Puissance appoint	kW			
Consommation appoint	kWh/an			
Taux couverture annuel géothermie	%			
Longueur réseau de chaleur	ml			
Profondeur forage	ml			
Débit max (nappe)	m3/h			
Mètre-linéaire de sondes (sondes)	ml			

		Solution de référence	Solution bois 1	Solution bois 2
Coût électricité	€TTC /kWh			
Coût appoint	€TTC /kWh			
Coût P1	€TTC /an			
Coût P2 + P3	€TTC /an			
Investissement	€HT			
Subventions Climaxion	€			
Autre cofinanceur 1	€			
Autre cofinanceur 2	€			
Autofinancement	€HT			
Temps de retour brut du surcoût avec subventions *	ans			
Impact sur l'emploi				
Economies de TEP/an				
Emissions CO_2 évitées	Tonnes eq CO2 /an			
Atouts particuliers				
Contraintes particulières				

* Temps de retour brut du surcoût avec subvention =
Surcoût de l'investissement de la géothermie déduit des subventions / économie annuelle d'exploitation par rapport à la solution de référence

Annexe 3
Définition des différents Coefficients de Performance des installations de PAC géothermiques

COP machine

Il s'agit du rapport de l'énergie thermique produite par la PAC sur l'énergie électrique consommée par la PAC (compresseurs + auxiliaires non permanents). C'est le COP du groupe thermodynamique seul, tel qu'il peut être mesuré en usine par le constructeur.
Ce coefficient prend en compte les consommations électriques des auxiliaires non permanents dont le fonctionnement est asservi à la marche de la PAC ou qui sont alimentés périodiquement
Ces auxiliaires peuvent être :
• les ventilateurs (cas d'une pompe à chaleur sur l'air) ;
• des pompes de circulation asservies (avec fonctionnement simultané) au compresseur ;
• des résistances électriques (par exemple dégivrage des batteries)
Cette valeur est donc plus représentative de la performance de la machine.

$$COP = \frac{P_{CH}}{(P_{COMP} + P_{AUX})}$$

COP système

C'est le rapport entre l'énergie thermique produite par la PAC et l'énergie électrique consommée par cette PAC, les auxiliaires permanents et l'appoint, le cas échéant.

COP global de l'installation

Ce coefficient prend en compte les pertes d'énergies (par les réseaux de distribution notamment) qui ne contribuent pas au chauffage des locaux.

$$COP = \frac{(P_{CH} - P_{Pertes})}{(P_{COMP} + P_{AUX})}$$

COP annuel global de l'installation : C'est la valeur moyenne du COP système sur l'année

C'est le COP qui intéresse le maître d'ouvrage, pour calculer les performances énergétiques moyennes de l'installation, et donc calculer la rentabilité économique de son opération.
Sur les plages de température des PAC géothermiques sur aquifères (source froide > 12 °C), des COP mesurés sur des installations en exploitation donnent des valeurs généralement supérieures à 3,5.

Efficacité énergétique ou coefficient d'efficacité frigorifique EER ou « COP froid »

La performance en mode froid de la machine frigorifique réversible est exprimée par le coefficient d'efficacité énergétique. Il s'agit du rapport de l'énergie frigorifique produite par la PAC sur l'énergie électrique consommée par le compresseur/

$$C_{FR} = \frac{P_{FR}}{P_{COMP}}$$