

**MISE EN PLACE DE POMPE(S) A CHALEUR GEOTHERMIQUE(S)
SUR AQUIFERE SUPERFICIEL OU
SUR CHAMP DE SONDES**

**CAHIER DES CHARGES TYPE
ETUDE DE FAISABILITE**
Version 1.1 du 12/06/2012

SOMMAIRE

1. OBJECTIFS DU DOCUMENT	3
2. CONTENU DE L'ETUDE.....	4
2.1. Phase 1 : Description générale de l'opération	5
2.2. Phase 2 : Etude des besoins thermiques (méthode de calcul de référence selon "DTU")	5
2.3. Phase 3 : Caractérisation des ressources géothermiques	5
2.4. Phase 4 : Adéquation des besoins en surface / ressources sous sol et choix des équipements	6
2.5. Phase 5 : Bilans thermiques	10
2.6. Phase 6 : Bilan économique	10
2.7. Phase 7 : Bilan environnemental	11
2.8. Phase 8 : Conclusions	11
3. COMITE DE PILOTAGE	11
4. REUNIONS	12
5. DOCUMENTS	12
6. PROPRIETE DES RESULTATS	12
7. PRESTATAIRES D'ETUDES	12
8. DELAIS DE REALISATION	12

ANNEXE 1 : Utilisation Rationnelle de l'Energie (URE) dans les bâtiments existants

ANNEXE 2 : Définition des différents Coefficients de Performance des installations de PAC géothermiques

ANNEXE 3 : Monitoring des installations de PAC

ANNEXE 4 : Estimation des émissions de CO2

ANNEXE 5 : Fiche de synthèse

EXIGENCES DE L'ADEME SUR LES PERFORMANCES ENERGETIQUES DES BATIMENTS (cf détail en annexe 1)

***Pour tous les bâtiments existants** est exigée une analyse énergétique des consommations définissant le ou les programmes de travaux pour améliorer la performance du bâtiment (dont les équipements utilisant les EnR). Cette analyse énergétique a pour objectif de sensibiliser les maîtres d'ouvrage aux investissements énergétiques les plus pertinents du point de vue économique et environnemental. Il n'y a pas de caractère obligatoire aux recommandations qui en découleraient.*

***Pour les bâtiments neufs et pour les bâtiments existants**, pour lesquels la réglementation thermique concernant la réhabilitation s'applique, les aides ne doivent pas simplement permettre le respect de cette réglementation. Elles doivent permettre d'obtenir des bâtiments de performance significativement supérieures à la réglementation thermique en vigueur. Pour les bâtiments neufs, l'exigence sera d'avoir un coefficient Cep au moins inférieur à $0.8 \cdot \min(\text{Cep max}, \text{Cep réf})$.*

1. OBJECTIFS DU DOCUMENT

Ce cahier des charges a pour objectif de décrire le déroulement et le contenu type d'une étude de faisabilité nécessaire à la mise en place de Pompe(s) à chaleur géothermique(s). Ce document s'applique aux opérations de PAC sur aquifère superficiel ou sur champ de sondes et s'adresse donc plus spécifiquement aux projets des secteurs résidentiel collectif, tertiaire ou industriel.

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

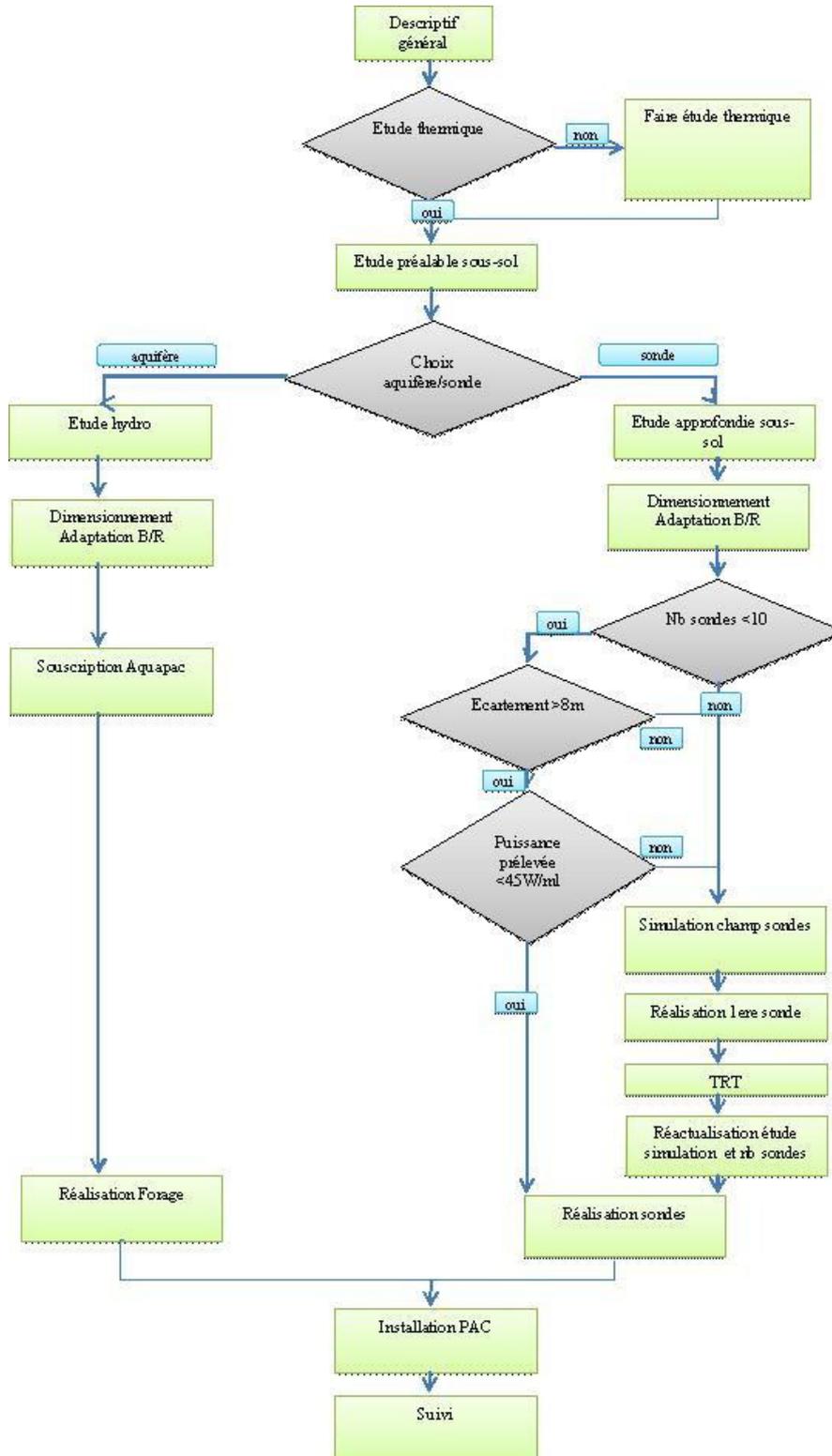
- vérifier la faisabilité technique et économique du projet d'implantation d'une installation de pompe à chaleur géothermique.
- proposer des solutions techniques adaptées au contexte et aux possibilités qu'offre le site.
- comparer la solution géothermique aux autres possibilités en terme d'investissement, d'exploitation et d'impacts environnementaux.
- étudier les solutions en matière de montage financier et juridique.

Toute l'analyse devra être effectuée avec un souci d'Utilisation Rationnelle de l'Energie (URE). Les données thermiques devront être présentées selon les dénominations suivantes :

- la consommation d'énergie « utile » (Eu) qui est la part d'énergie servant effectivement à l'usage voulu par le consommateur (chaleur, lumière, force motrice)
- la consommation d'énergie « finale » (Ef) qui est la quantité d'énergie mesurée au compteur du consommateur (compteur électrique, gaz, pompe à essence, ...)
- la consommation d'énergie « primaire » (Ep) qui est la quantité d'énergie qu'il a fallu prendre dans la nature, transformer sous la forme utilisable par le consommateur et la transporter jusqu'à lui (le coefficient de conversion de l'énergie électrique en énergie primaire sera considéré égal à celui de la réglementation thermique soit 2,58).

2. CONTENU DE L'ETUDE

L'étude sera réalisée en concertation avec le comité de pilotage et comprendra tous les éléments nécessaires pour permettre au maître d'ouvrage de prendre une décision éventuelle d'engagement de travaux. Ces études seront donc de niveau APS (avant projet sommaire). Elles se dérouleront selon le logigramme suivant :



2.1.Phase 1 : Description générale de l'opération

- 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 (surface et sous-sol)
- Contexte du projet (motivation, études préalables éventuelles, potentiel géologique local, contexte urbanistique et socio-économique, choix politiques et environnementaux, ...)
- Périmètre concerné par l'opération
 - Description détaillée du (ou des) bâtiment(s) actuel(s) et futur(s) et de leur environnement proche (joindre plan de masse et extrait du cadastre).
 - Localisation, orientation et identification sur un plan (le cas échéant extensions futures).
 - Usage et occupation du ou (des) bâtiment(s) : logements (type, nombre de logements), bureaux, commerces, locaux industriels, ...
 - Propriétaire(s) des bâtiments
 - Année de construction et éventuellement de réhabilitation
 - Projets d'urbanisation et de réhabilitation (importance et planning)

Pour cette première phase, l'opérateur veillera à reprendre les éléments fournis par le maître d'ouvrage et son architecte, à les compléter et à présenter une analyse critique détaillée.

2.2.Phase 2 : Etude des besoins thermiques (méthode de calcul de référence selon "DTU")

Pour les bâtiments existants, l'étude des besoins thermiques inclura un volet URE Utilisation Rationnelle de l'Energie dont la méthodologie est décrite en annexe 1.

Pour les bâtiments neufs, l'étude des besoins thermiques se basera sur la réglementation thermique en vigueur avec un objectif d'amélioration de 20% par rapport à la RT applicable.

- Caractéristiques thermiques et données techniques de base du (ou des) bâtiment(s) et locaux : surface, volume, orientation, isolation, surface vitrée, renouvellement d'air, période de fonctionnement,
- Détermination des besoins énergétiques prévisionnels annuels (chauffage, froid, ECS).
- Courbe monotone des puissances de chauffage, de froid et d'ECS appelées sur l'année.
- Détermination de la puissance totale à installer et à ventiler par type de production (PAC, appoint).
- Comparatif thermique de ce(s) bâtiment(s) par rapport à la réglementation thermique (RT) en vigueur pour les bâtiments neufs et par rapport à des ratios connus pour des bâtiments existants.

2.3. Phase 3 : Caractérisation des ressources géothermiques

Les études hydrogéologiques et géologiques seront réalisées par un bureau d'études ayant des compétences sous sol. Elles seront basées principalement sur une étude bibliographique, sans forage test à ce stade d'avancement du projet.

Pour les opérations sur nappes

L'étude de faisabilité présentera notamment :

- analyse du contexte géologique (en tenant compte des forages à proximité et en utilisant la base de données des forages existants) ;
- choix de l'horizon géologique,
- coupe géologique prévisionnelle (profondeurs, épaisseurs, stratigraphie, ...),
- caractéristiques hydrogéologiques du réservoir (perméabilité, porosité, transmissivité, pression statique,...),
- caractéristiques hydrochimiques du fluide (viscosité, salinité, point de bulle, ...),
- recensement des sites de forages potentiels (carte),
- justification de l'implantation et de l'écartement des puits de forage.

S'il le souhaite le maître d'ouvrage aura la possibilité de souscrire à la garantie AQUAPAC. 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 100 m de profondeur, puis au maintien de ses capacités dans le temps. Cette assurance s'applique en faveur des installations utilisant des pompes à chaleur d'une puissance thermique supérieure à 30 kW.

Plaquette AQUAPAC et Dossier de demande de garantie disponibles sur : <http://www.geothermie-perspectives.fr/>

Pour les opérations sur champ de sondes

- analyse du contexte géologique
- coupe géologique prévisionnelle (profondeurs, épaisseurs, stratigraphie, ...),

Une vigilance particulière sera apportée aux zones karstiques et aux zones présentant des risques de dissolution ou de retrait-gonflement (argiles, évaporites)

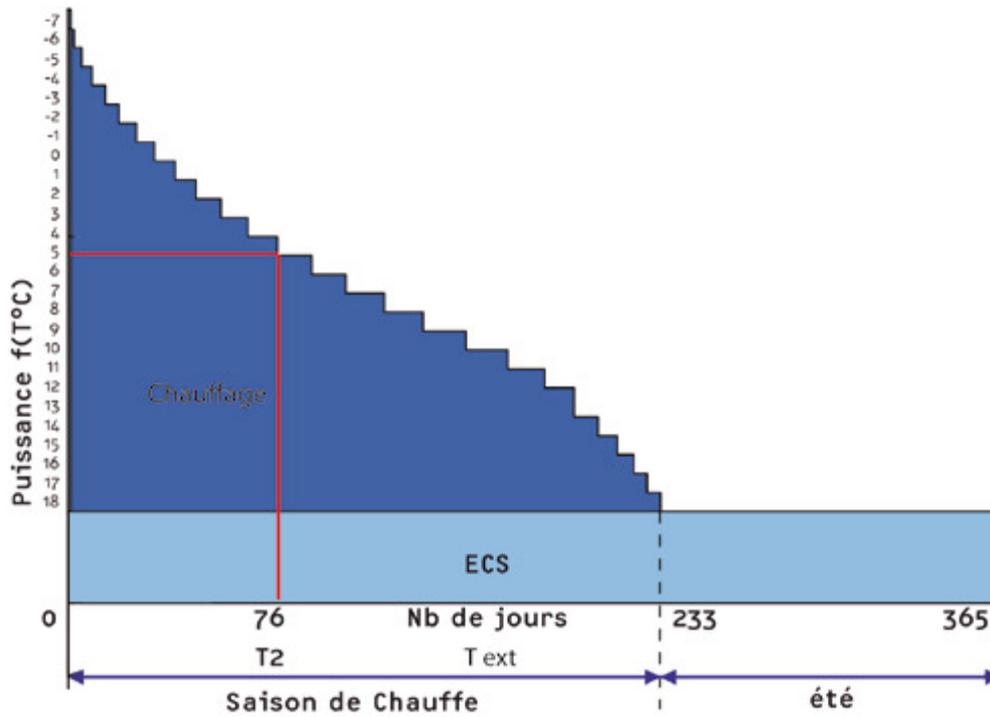
*Que ce soit pour les **opérations sur nappes superficielles ou sur champ de sondes** géothermiques, les forages devront être réalisés selon les normes en vigueur :*

- forages d'eau (NFX 10-980, NFX 10-990, NFX 10-999)
- forages de sondes (NFX 10-970, norme qui impose une cimentation totale sur la profondeur du forage)

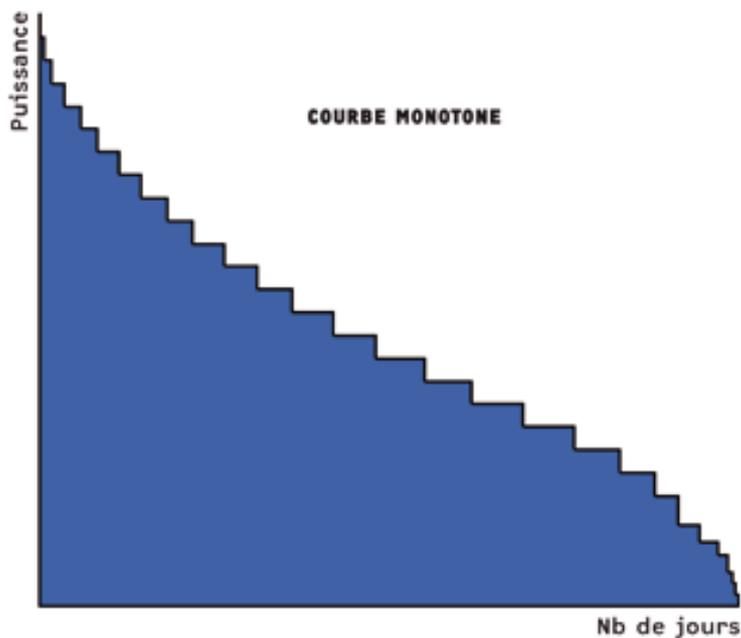
2.4. Phase 4 : Adéquation des besoins en surface / ressources sous sol et choix des équipements

Les équipements proposés pour la solution géothermie et la solution de référence seront justifiés par les résultats de l'étude des besoins thermiques en §2.2 :

Le choix du taux de couverture de la PAC modifie grandement l'investissement de départ. Il n'est donc parfois pas judicieux de couvrir la totalité des besoins avec la solution de pompe à chaleur géothermique. La décision de couvrir les puissances crête de chaud et/ou de froid ou d'installer une puissance maximale limitée mais couvrant un fort pourcentage des consommations ou la décision de dimensionner l'échangeur pour obtenir un maximum de « rafraîchissement direct » venant du sol dépendent de la ressource disponible, des résultats de l'analyse en coût global et de la démarche environnementale de l'investisseur. Cf graphe ci-après



Courbe monotone de charge (Chauffage et ECS) avec une $T_{eb} = -7^{\circ}\text{C}$



Courbe monotone de charge Chauffage seul

Descriptif de la solution géothermie (PAC + appoint éventuel)

- Caractéristiques du système de chauffage et/ou de froid par pompe à chaleur eau/eau :
 - puissance thermique évaporateur,
 - puissance thermique condenseur,
 - puissance électrique compresseur,
 - nombre d'heures de fonctionnement

- COP annuel système (c'est-à-dire valeur moyenne du COP système sur l'année) selon les définitions rappelées en annexe 2.
- COP machine selon la source froide :
 - o **pour PAC sur nappe, eau d'exhaure, eaux usées : pour que le projet soit éligible aux aides de l'ADEME, le COP doit être égal ou supérieur à 4,0** (mesuré pour les conditions de température prévues selon la norme européenne EN 14511 et l'arrêté du 03/05/07 : PAC eau-eau sur nappe avec ou sans échangeur de barrage Régime 40/45 °C et 10/7 °C)
 - o **pour PAC sur sondes : pour que le projet soit éligible aux aides de l'ADEME, le COP doit être égal ou supérieur à 3,7** (mesuré pour les conditions de température prévues selon la norme européenne EN 14511 et Arrêté du 03/05/07 : PAC eau-eau avec capteurs enterrés Régime 30/35 °C et 0/-3 °C)
- COP machine selon les régimes de température du projet (évaporateur et condenseur à préciser)

Les différentes simulations permettant de justifier l'optimisation du taux de couverture retenu pour la pompe à chaleur seront fournies.

- Caractéristiques de la boucle géothermale (caractéristiques prévisionnelles d'exploitation) :
 - débit prévisionnel
 - courbe débit avec pompage (f puissance électrique),
 - niveau statique
 - puissance de la pompe immergée
 - température fond de puits,
 - température tête de puits,
 - pressions en tête,
 - pression 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.

Pour les opérations de PAC sur nappe, deux types de pompages d'essai seront réalisés avant la mise en exploitation des forages (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, ...).

- Caractéristiques du champ de sondes géothermiques :
 - nombre de sondes géothermiques,
 - profondeur,
 - prévision de sol rencontré,
 - ratio de puissance prélevée en W/ml de sonde
 - disposition des sondes
 - nombre d'heures de fonctionnement du champ de sondes (nombre d'heures équivalentes)

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 : cette étape permettra 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 nécessite qu'un ou plusieurs forages de test soient effectués.

Selon l'utilisation du champ de sondes (heures de fonctionnement, cycles chauffage/rafraîchissement) et afin d'en optimiser le dimensionnement, le TRT sera complété par une étude de simulation dynamique (notamment pour des bâtiments d'une surface supérieure à 1000 m²).

- 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)
- Ballon tampon en sortie condenseur (s'il est prévu)

Il conviendra d'apporter une attention particulière au bon dimensionnement du ballon tampon pour éviter les courts cycles de la PAC. Le volume pourra varier en fonction du modèle de la PAC (durée des cycles courts, capacité de régulation, puissance et nature des composants internes, nature du fluide).

- Système d'émetteurs de chaleur/froid retenu avec pour chaque type d'émetteurs le régime de température associé
- Rendement des échangeurs de chaleur (s'ils sont prévus)
- Système de production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS)
- Caractéristiques de l'appoint éventuel (combustible utilisé, puissance thermique installée, rendement)
- Schéma de principe de l'installation (schéma hydraulique détaillé avec emplacement des compteurs)

Il conviendra d'insister sur la description des réseaux hydrauliques alimentant les émetteurs, surtout s'il y a deux types d'émetteurs fonctionnant à des niveaux de température différents.

- 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 (cf schémas préconisés par le CSTB en annexe 3).
- Régulation (cascade, moteur à vitesse variable, ...) : description des modes de fonctionnement de l'installation

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

Descriptif de la solution de référence

- Caractéristiques de la solution de référence en considérant une production de chaleur et/ou de froid à partir d'une énergie dite traditionnelle (**solution sur vecteur eau**), **couvrant les mêmes besoins thermiques et incluant les rendements associés** (pour

exemple : chaudière au gaz (naturel ou propane) ou chaudière au fuel et/ou groupe froid) : puissance thermique ou frigorifique, combustible utilisé, rendements

2.5. Phase 5 : Bilans thermiques

	Besoins utiles	Solution géothermique (PAC + appoint éventuel)					Solution référence	
		Consommations			Production		Consommations	
	(kWh)	PAC * (kWh _{ef})	Auxiliaires ** (kWh _{ef})	Appoint (kWh _{ef})	PAC (kWh _{ef})	Appoint (kWh _{ef})	Combustible (kWh _{ef})	Electricité (kWh _{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

2.6. Phase 6 : Bilan économique

1. Récapitulatif des investissements liés à la PAC et à l'appoint

Détermination des investissements poste par poste

- Forages, pompes, crépines
- Sondes géothermiques (forage inclus)
- Pompes de circulation des sondes géothermiques,
- PAC,
- Local technique (génie civil dédié)
- Régulation,
- Production d'eau chaude sanitaire (s'il y a),
- Chauffage d'appoint (s'il y a),
- Instrumentation et monitoring
- Emetteurs de chaleur et réseau de distribution
- Ingénierie, conception et réalisation

2. Coûts d'exploitation prévisionnels

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,
- du système de chauffage d'appoint éventuel.
- des pompes de circulation (hors pompes côté distribution),
- des pompes de forage.

(A 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)

3. Solution de référence

Les deux premiers points de cette phase 6 sont à reprendre en considérant une production de chaleur et/ou de froid à partir d'une énergie dite traditionnelle (**solution sur vecteur eau**), **couvrant les mêmes besoins thermiques et incluant les rendements associés** (pour exemple : chaudière au gaz (naturel ou propane) ou chaudière au fuel et/ou groupe froid).

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

Cette analyse économique du projet doit utiliser :

- des indicateurs économiques classiques (Valeur Actualisée Nette, Temps de Retour sur Investissement, Taux de rentabilité interne). Pour faciliter la compréhension par les maîtres d'ouvrage, le résultat de cette analyse économique sera exprimé en temps de retour actualisé, c'est-à-dire le temps nécessaire pour compenser l'investissement par les économies en tenant compte des coûts de fonctionnement et des coûts d'accès aux capitaux.
- des valeurs standard pour les paramètres clefs (dont : taux d'actualisation, scénario d'évolution des prix des énergies à 0%, 4% et 8%)

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

2.7. Phase 7 : Bilan environnemental

Evaluation de l'impact sur l'environnement :

- Estimation des gains en kWh/an puis en tep/an apportés par la PAC par rapport à la situation existante et par rapport à la solution de référence,
- Estimation de la réduction des émissions de CO₂ en tonne/an et incluant un taux de fuite du fluide frigorigène de la PAC de 3%/an (cf annexe 4) par rapport à la situation existante et par rapport à la solution de référence,

2.8. Phase 8 : Conclusions

Réalisation d'un document de synthèse de l'étude de faisabilité présentant la solution technique proposée, y compris sa rentabilité économique, comparée à la solution de référence selon la fiche de synthèse du projet en annexe 5.

3. COMITE DE PILOTAGE

Les travaux relatifs à l'étude de faisabilité seront suivis par un comité de pilotage chargé d'orienter et de valider les démarches du bureau d'études. Il sera constitué :

- du maître d'ouvrage,
- d'un représentant de la direction régionale de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME),
- d'un représentant du porteur de projet d'implantation d'une PAC géothermale dans le cadre de l'étude de faisabilité exclusivement (2nde partie),
- et de toute autre personne ou entité dont le maître d'ouvrage jugera la présence temporaire ou régulière utile.

4. REUNIONS

Dès signature du contrat, le prestataire retenu présentera au comité de pilotage lors d'une première réunion, son organisme, ses co-traitants et sous-traitants éventuels, les moyens affectés à l'étude, la méthodologie envisagée et le temps consacré à l'étude.

Il est à prévoir ensuite une réunion de restitution avec le comité de pilotage.

A tout moment et à l'initiative du maître d'ouvrage ou du bureau d'études, des réunions de travail pourront être organisées en sus des 2 réunions ci-dessus évoquées.

5. DOCUMENTS

Le bureau d'études remettra un rapport final et une synthèse en quatre exemplaires dont un non relié.

6. PROPRIETE DES RESULTATS

L'ensemble des résultats de cette étude est la propriété du maître d'ouvrage.

7. PRESTATAIRES D'ETUDES

Le bureau d'études désignera une personne référente qui assurera les relations avec le maître d'ouvrage.

En cas de sous-traitance, le bureau d'études aura à préciser les coordonnées, la fonction, les références de l'entreprise avec laquelle il souhaite travailler. L'aval du maître d'ouvrage est indispensable avant toute participation d'un sous-traitant.

Le bureau d'études précisera :

- le nombre et la qualité des personnes mobilisées par l'étude, au total et
- le temps prévisionnel passé par celles-ci pour l'étude en question, pour chacune
- les délais garantis de réalisation, des parties et
- ses prix de prestations des phases
- ses références dans des études similaires.

8. DELAIS DE REALISATION

Le bureau d'études devra se conformer aux délais annoncés au comité de pilotage lors de l'établissement de son devis.

Tout écart devra être préalablement autorisé par le maître d'ouvrage.

ANNEXE 1 : Utilisation Rationnelle de l'Energie (URE) dans les bâtiments existants

Analyse de l'existant

Le bureau d'étude aura en charge de définir pour chacun des bâtiments concernés :

- Les caractéristiques et l'état d'usage de l'installation en place : **chaudière**, brûleur, fluide caloporteur, rendement, **production d'ECS**, **groupes froid** s'il y a lieu, réseau de distribution, émetteurs (nombres et caractéristiques), régulation, température intérieure recommandée...
- Les caractéristiques thermiques des bâtiments et locaux concernés par le projet : surface, volume, orientation, isolation, surface vitrée, renouvellement d'air, période de fonctionnement.
- La prise en compte de la création, rénovation ou extension des bâtiments, changement ou couplage d'installation, prévision d'aménagements futurs.
- Le cas de bâtiments futurs: relevés à effectuer sur plans et en collaboration avec le bureau d'étude concepteur.
- Les besoins spécifiques (piscines, blanchisseries, ...)
- Les contraintes éventuelles (place en chaufferie, accès véhicule, ...)

Analyse des factures

L'objet de cette étape sera la détermination des consommations énergétiques constatées sur relevés de consommations (facture, quantités, etc.) sur les 2 ou 3 trois dernières années.

Analyse théorique

A partir des caractéristiques des bâtiments relevées (surfaces, volumes, intermittence, isolation en place, etc.), le bureau d'études aura en charge de réaliser une analyse thermique simplifiée par bâtiments. Il s'agira de déterminer la puissance et la consommation théorique de chaque bâtiment au regard de leur configuration actuelle (en chaud, en ECS et le cas échéant en froid).

Recollement de l'analyse théorique et des factures

Si les consommations issues de l'analyse théorique ne sont pas en cohérence avec l'analyse des factures, le bureau d'étude aura en charge d'étudier les raisons de ces écarts et de les caractériser.

Analyse des points de surconsommations

Le prestataire devra étudier les points de surconsommations s'ils existent. A l'aide de quelques ratios, il devra identifier les points critiques au niveau, entre autres :

- De l'utilisation des bâtiments et notamment de la régulation,
- Du rendement des équipements,
- De l'isolation des bâtiments (sols, murs, toiture, vitrage).

Cette analyse permettra de mettre en évidence les points à plus fort enjeu d'amélioration

Préconisations d'améliorations énergétiques

Le prestataire devra identifier les points critiques afin de diminuer les consommations de chauffage du bâtiment.

Analyse technique

En comparant l'analyse de l'existant et l'analyse théorique, le bureau d'étude aura en charge de proposer des solutions techniques simples visant à réduire les consommations de chauffage et de climatisation des bâtiments. Ces solutions peuvent être :

- Renforcement de l'isolation sur toute ou partie du bâtiment,
- Changement des vitrages,
- Amélioration de la ventilation,
- Amélioration de la régulation,
- Travail architectural simple (brise soleil, puit canadien, etc.),
- Programmation des plages de chauffe.

Le bureau d'étude mettra en évidence l'économie réalisée en kWh énergie finale.

Analyse économique

Chaque proposition technique fera l'objet d'un chiffrage des coûts d'investissement. L'analyse économique pourra être basée sur des ratios. Il sera tenu compte des possibilités d'aides en vigueur pour l'amélioration du bâti. Les informations sur ces aides sont disponibles auprès de l'ADEME.

Il est attendu une présentation claire et synthétique des améliorations à apporter, de leur coût et de leur rentabilité.

Echéancier

Le bureau d'étude devra identifier un échéancier réaliste de réalisation des travaux d'améliorations thermiques des bâtiments. Cet échéancier sera établi en concertation avec le maître d'ouvrage.

ANNEXE 2 : 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 (COPA) : 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.

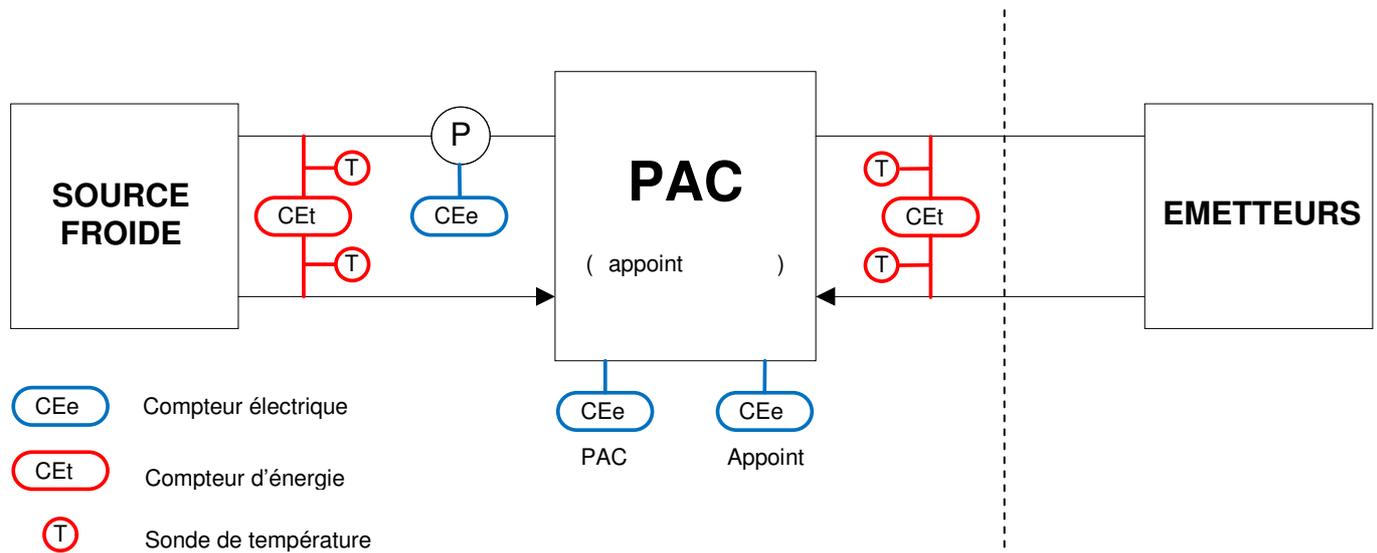
Efficacité énergétique

La performance en mode froid de la machine frigorifique réversible est exprimée par le coefficient d'efficacité énergétique :

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

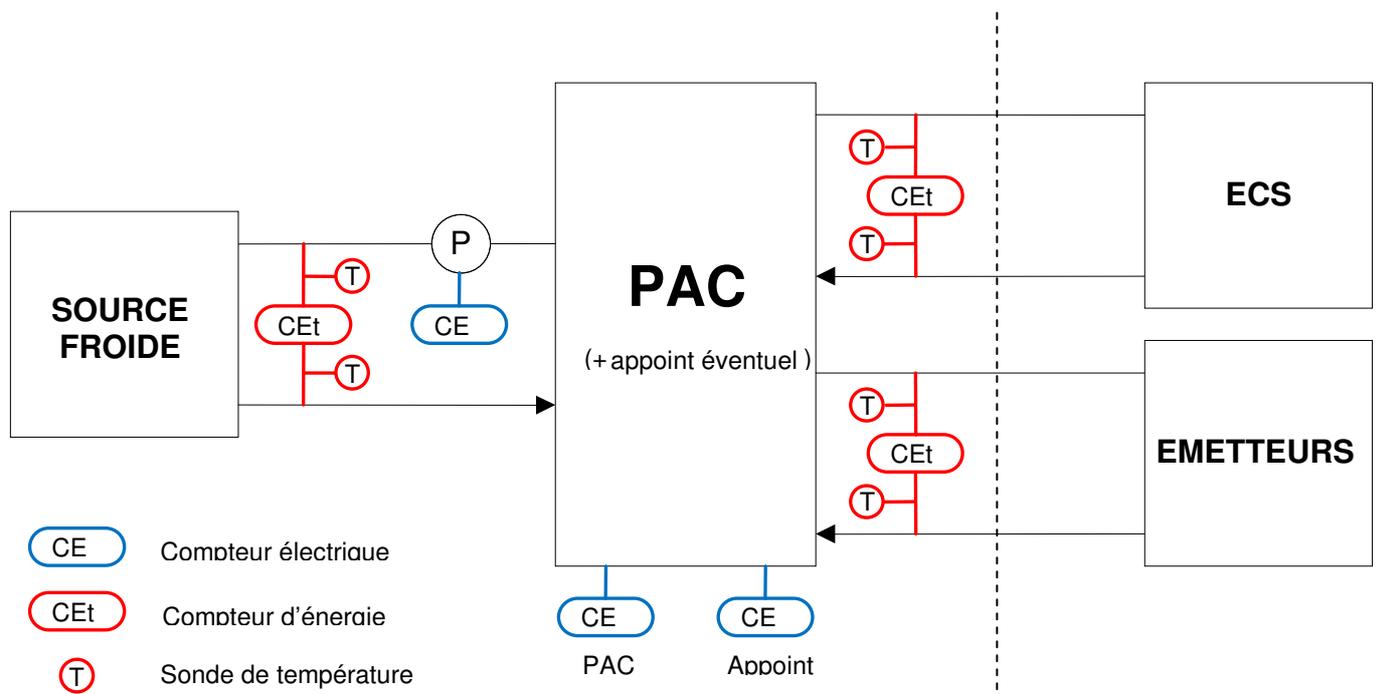
ANNEXE 3 : Monitoring des installations de PAC

Instrumentation pour un fonctionnement chauffage ou froid :

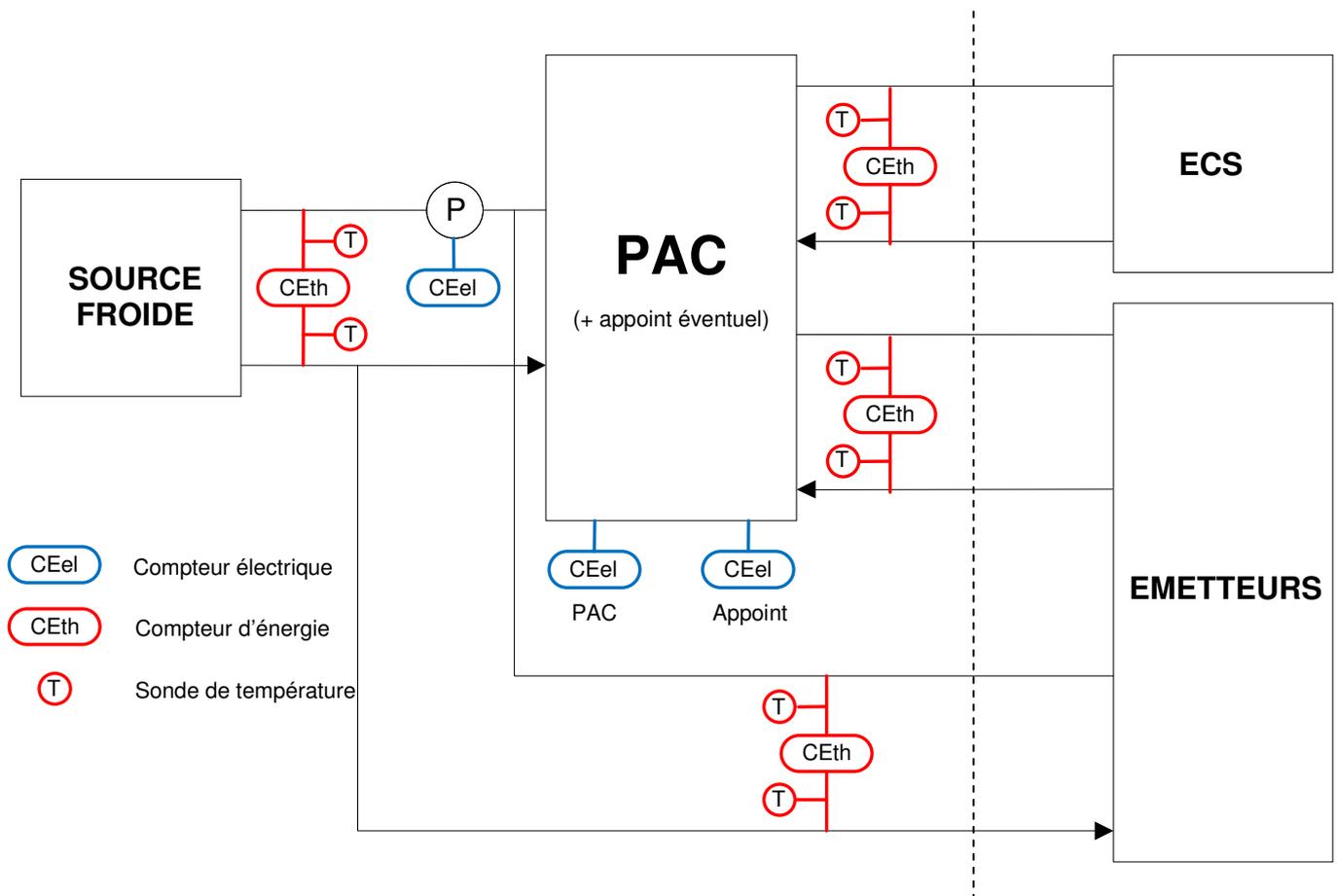


Dans le cas d'une installation réversible (production de chaud et de froid), les compteurs d'énergie doivent être réversibles.

Instrumentation pour un fonctionnement chauffage ou froid avec préchauffage ECS :



Instrumentation pour un fonctionnement chauffage, freecooling avec préchauffage ECS :



ANNEXE 4 : Estimation des émissions de CO2

	kgCO ₂ /GJ	PCI (GJ/tonne)	kgCO ₂ /tep (PCI)	gCO ₂ /kWh
Essence	73	44	3 066	264
Gazole/FOD	75	42	3 150	271
Fuel lourd	78	40	3 276	282
Gaz naturel	57	49,6	2 394	206
Kérosène	74	44	3 108	267
Charbon	95	26	3 990	343
GPL	64	46	2 688	231
Déchets ménagers	41,3	8,8	1734,6	149

Source : MEDD, questionnaire de déclaration annuelle des émissions polluantes 2005 des installations classées soumises à autorisation

Indicateurs de contenu en CO₂ de l'électricité consommée en France (en g de CO₂/kWh_e)

indicateurs détaillés	Référence (valeur moyenne)	à titre indicatif : plages de variation	indicateurs simplifiés
chauffage+ pompes de circ.	180	129 à 261	180 Chauffage
éclairage résidentiel	116	93 à 151	100 Eclairage
éclairage tertiaire	80	64 à 88	
éclairage public et industriel	109	85 à 134	
usages résidentiels : cuisson	82	66 à 93	60 Usages intermittents
usages résidentiels : lavage	79	63 à 88	
usages résidentiels : produits bruns	62	50 à 81	
usages tertiaires : autres	52	41 à 77	
usages industriels (hors éclairage)	55	38 à 86	
usages résidentiels : ECS	40	20 à 72	40 Usages "en base"
usages résidentiels : froid	40		
usages résidentiels : autres	39		
usages tertiaires : climatisation	37		
agriculture-transport	38		
autres (BTP, recherche, armée, etc.)	35		

source : ADEME et EDF, 2004

ANNEXE 5 : FICHE DE SYNTHÈSE

FICHE DE SYNTHÈSE DU PROJET (3 pages)

PAC sur aquifère superficiel

PAC sur champ de sondes géothermiques verticales

Dossier n° :

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Site concerné par l'étude				
Usages (Chauffage, ECS, Froid)				
	Raison sociale	Adresse	Référent	Téléphone
Maître d'ouvrage				
Bureau d'études sous sol				
Bureau d'études surface				

DESCRIPTION DU BATI

Bâtiment(s)	Surface (m ²)	Energie actuelle	Besoins Chauffage kWh (1)	Besoins ECS kWh (1)	Besoins Froid kWh (1)	Consommations spécifiques (2) (kWh/m ² .an)
TOTAL						

(1) Prendre l'énergie utile (sortie bâtiment) après réhabilitation

(2) Prendre l'énergie primaire entrée de bâtiment pour le poste de chauffage après réhabilitation.

Si bâtiment(s) existant(s)

Actions d'économie d'énergie prévues	<input type="checkbox"/>	
Actions d'économie d'énergie déjà réalisées	<input type="checkbox"/>	

DESCRIPTION SOLUTION GEOTHERMIQUE surface (PAC + appoint éventuel)

PAC		Appoint (éventuel)	
Puissance calorifique ou thermique (kW)		Puissance thermique (kW)	
Puissance frigorifique (kW)		Energie utilisée	
COP* ou EER** machine selon EN 45111		Rendement	
Régime T° évaporateur projet (°C/°C)			
Régime T° condenseur projet (°C/°C)			
COP machine annuel moyen			

*COP : Coefficient de Performance donné par le constructeur (rapport de puissances à un point de fonctionnement de la PAC - préciser les régimes de température pris en compte)

**EER : Energy Efficiency Ratio (Coefficient d'Efficacité Energétique) ou COP en mode froid (préciser les régimes de température pris en compte)

DESCRIPTION SOLUTION GEOTHERMIQUE sous sol (installations de captage)

PAC sur aquifère superficiel			
Nombre de forages de production			
Nombre de forages de réinjection			
Profondeur (m)			
Présence d'un échangeur primaire	O / N		
Distance entre forages (m)			

Type de rejet en cas de non réinjection			
	Chauffage	ECS	Froid
Débit maximum (m3/h)			
Débit moyen (m3/h) correspondant à la durée de fonctionnement annuelle			
Durée de fonctionnement annuelle (h/an)			
Ecart de température prélèvement/rejet (°C)			

DESCRIPTION SOLUTION GEOTHERMIQUE sous sol (installations de captage)	
PAC sur champ de sondes	
Nombre de sondes	
Profondeur par sonde (m)	
Prévision de sol rencontré	
Longueur totale (m) du captage	
Type de sonde (simple U, double U, ...)	
Diamètre extérieur des tuyaux (mm)	
Espacement moyen entre sondes (m)	
Puissance d'extraction par m de sonde (W/m)	
Durée de fonctionnement annuel (h/an)	

BILANS THERMIQUES								
	Besoins utiles (kWh)	Solution géothermique (PAC + appoint éventuel)					Solution de référence (2)	
		Consommations			Production		Consommations	
		PAC *(kWh/ef)	Auxiliaires ** (kWh/ef)	Appoint (kWh/ef)	PAC (kWh/ef)	Appoint (kWh/ef)	Combustible (kWh/ef)	Electricité (kWh/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

NOTA : Joindre la courbe d'appel de puissance en annexe faisant apparaître le taux de couverture et la puissance de la pompe à chaleur.

DESCRIPTION DES INVESTISSEMENTS (prévisionnel étude) (en € HT)		
	Solution géothermique (PAC+appoint éventuel)	Solution référence (2)
VRD/Bâtiment chaufferie		
Production de chaleur (PAC, chaudière)		
Production par l'appoint		
Production de froid (groupe froid)		
Production d'ECS		
Équipement de captage géothermique (forages, sondes, pompes...)		
Circuit condenseur (de la PAC aux ballons tampons inclus)		
Comptage, instrumentation et monitoring (1)		
Régulation		
Ingénierie, conception et réalisation		
Autres (préciser)		
A - TOTAL ELIGIBLE SOLUTION GEOTHERMIQUE		
B - TOTAL SOLUTION DE REFERENCE		
C - Surcoût TOTAL de la solution géothermique (A - B)		

- (1) La pose d'un compteur de chaleur permettant de mesurer les Tep extraites du sous sol est obligatoire (compteur d'énergie thermique entrée PAC).
- (2) On entend par « installation de référence », les équipements, périphériques, main d'œuvre et l'ingénierie qui auraient dû être mis en œuvre, dans le cas où l'installation géothermique ne serait pas retenue. Pour être parfaitement comparable, la solution de référence sera obligatoirement une solution à eau chaude et devra couvrir les mêmes besoins de chauffage ECS et froid (le cas échéant).

FONCTIONNEMENT ANNUEL			
		Solution géothermique PAC (+appoint)	Solution de référence
P1	Coût achat combustible référence et appoint (fuel, gaz naturel, ...)(€ TTC)		
	Coût achat électricité PAC (€ TTC)		
P1'(1)	Coût conso électricité auxiliaires (€TTC)		
P2 (2)	Entretien (€TTC)		
P3 (3)	Renouvellement matériel/provisions réparations (€TTC)		
Coût global d'exploitation / an (€TTC)			
D - Economie annuelle d'exploitation (€TTC) (4)			

(1) Coût de la consommation électrique des auxiliaires (pompes, régulation, ...)

(2) Coût des prestations de conduite, de l'entretien, montant des redevances et frais divers

(3) Coût de renouvellement des installations

(4) Economie annuelle d'exploitation / référence = $(P1 + P1' + P2 + P3)_{référence} - (P1 + P1' + P2 + P3)_{solution\ géothermique}$

TEMPS DE RETOUR BRUT	Sans subventions	Avec subventions éventuelles *
Temps de retour solution géothermique sur surcoût total géothermique => (C / D) (en années)		

(1) Préciser le taux d'aides éventuellement apportées

BILAN ENVIRONNEMENTAL (TEP et émissions CO2 évitées)	
Gain en énergie primaire (Tep/an)	
Emissions de CO2 évitées (tonnes/an)	

(5) 1 Tep = 11 630 kWh

Date et signature du bureau d'étude	
Le à	
Nom :	