

GÉOTHERMIE

ASSISTÉE PAR POMPE A CHALEUR

ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE

JUILLET 2014

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	3
MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSES	5
A. Présentation de la méthodologie	5
B. Hypothèses	6
B.1. Hypothèses techniques	6
B.2. Hypothèses thermiques	7
B.3. Hypothèses économiques	8
C. Production de froid	10
C.1. Géocooling	10
C.2. Pompe à chaleur réversible et thermofrigopompe	11
1. GÉOTHERMIE SUR CAPTEURS HORIZONTAUX	12
1.1. Etude préliminaire	12
1.2. Hypothèses	13
1.3. Résultats	14
1.4. Conclusion sur les capteurs horizontaux	15
2. GÉOTHERMIE SUR SONDES VERTICALES	16
2.1. Contexte	16
2.2. Hypothèses	17
2.3. Résultats	18
2.4. Conclusion sur les SGV	22
3. GÉOTHERMIE SUR AQUIFÈRE	23
3.1. Contexte et principes de fonctionnement	23
3.2. Hypothèses	24
3.2.1. Hypothèses techniques	24
3.2.2. Hypothèses économiques	25
3.2.2.1. Pour l'investissement initial	25
3.2.2.2. Pour les coûts énergétiques de fonctionnement	25
3.2.2.3. Pour l'entretien et la maintenance	26
3.3. Résultats	26
3.3.1. Production de chaud	26
3.3.1. Production de froid	28
3.4. Répartition des coûts sur 50 ans	30
3.5. Conclusion sur la géothermie sur aquifère	31
4. COMPARAISONS ENTRE SYSTÈMES	32
CONCLUSIONS	34
Glossaire	36
Liens utiles et abréviations	38
Table des figures	39
Table des tableaux	39
Table des schémas	39



INTRODUCTION

LA GÉOTHERMIE EST L'UTILISATION DE LA CHALEUR NATURELLE DE LA TERRE EN TANT QUE SOURCE D'ÉNERGIE. CETTE ÉNERGIE RENOUVELABLE PRÉSENTE PARTOUT SOUS NOS PIEDS PEUT TOUT AUSSI BIEN PRODUIRE DU CHAUD QUE DU FROID MAIS AUSSI DE L'ÉLECTRICITÉ. ELLE SE DÉMARQUE D'AUTRES SOURCES D'ÉNERGIE PAR DE NOMBREUX AVANTAGES CUMULÉS : PROPRE, DURABLE, LOCALE, NON DÉLOCALISABLE, RÉGULIÈRE ET DISPONIBLE 24H SUR 24.

■ En outre, l'utilisation de l'énergie géothermique pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et le rafraîchissement des maisons individuelles comme du résidentiel collectif ou tertiaire améliore la performance environnementale du bâtiment et donc ce qu'on appelle sa valeur verte. Celle-ci correspond à « l'augmentation de valeur d'un bien engendrée par la meilleure performance énergétique et environnementale de ce bien » définie par le Plan Bâtiment Durable. En effet, un bâtiment dont l'étiquette énergétique est A ou B aura un prix de vente de 14 % à 27 % supérieur, selon les régions, à un bâtiment équivalent portant une étiquette D. Cette tendance est également déjà perceptible dans le secteur tertiaire où les valeurs de vente ou de revente augmentent également pour les bâtiments géothermisés.

■ Aujourd'hui la géothermie dite très basse énergie qui valorise l'énergie du sous-sol (chaleur du sol ou de l'eau souterraine à faible profondeur) grâce à un système de pompes à chaleur (PAC) représente en France plus de 80 % de la production de chaleur géothermique. C'est la filière la plus importante économiquement du marché national de la géothermie. Ce marché de l'habitat individuel et du collectif, socle de la filière géothermique française, reste toutefois difficile à aborder par les maîtres d'ouvrage potentiels qui disposent de peu de données économiques concernant cette énergie renouvelable. L'absence d'arguments chiffrés de rentabilité par rapport à d'autres énergies, comme par exemple le gaz, est préjudiciable à la filière très basse énergie.

■ Afin de rendre l'approche économique de la géothermie plus lisible, l'AFPG (Association Française des Professionnels de la Géothermie) a entrepris d'étudier le coût des projets géothermiques assistés par pompe à chaleur. Tous les investissements à réaliser ont été pris en compte, les coûts annuels de fonctionnement et de maintenance ont également été calculés pour les principales technologies mises en œuvre en France.

■ La vocation de cette étude est de poser des bases financières sur lesquelles les acteurs d'un projet géothermique pour le chauffage, le rafraîchissement et la production d'eau chaude sanitaire pourront s'appuyer. Cette étude a également pour objectif de faire connaître aux maîtres d'ouvrages potentiels les trois principales solutions techniques proposées par la géothermie très basse énergie (capteurs horizontaux, sondes verticales, doublets sur aquifères), leurs coûts respectifs et leur pertinence en fonction du type de bâtiment.

SCHÉMA 1
Les trois techniques
de captage

LES TROIS TECHNOLOGIES ÉTUDIÉES SONT ILLUSTRÉES PAR LES SCHÉMAS SUIVANTS.



Capteurs horizontaux



Sondes géothermiques verticales (SGV)



Doublets sur aquifère

DES EXEMPLES REPRÉSENTATIFS DES DIFFÉRENTS MARCHÉS SONT DONNÉES CI-DESSOUS.



PARTICULIERS
Pavillon en Bretagne



COLLECTIF
Résidence à
Canet-en-Roussillon



TERTIAIRE
Immeuble à Bobigny

© J. Escourrou, Architecte

© Brenac et Gonzalez



MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSES

PRÉSENTATION DE LA MÉTHODOLOGIE

A

**CETTE ÉTUDE A ÉTÉ RÉALISÉE GRÂCE À LA PARTICIPATION
ET À L'APPUI TECHNIQUE DES MEMBRES DE L'AFPG.**

Ont participé à la rédaction de cette étude : Eddy Aunette, Christian Boissavy, Georges Bollard, Jean-Pierre Cuny, Xavier Du Chayla, Juliette Duvert, Régis Eme, Julien Fabiano, Pascaline Galy, Jean-Jacques Graff, Julien Kirba, Hervé Lesueur, Aurélie Pages, Jean-Marc Percebois, François Raveleau, Guillaume Ravier, Laurent Richir, Virginie Schmidlé-Bloch, Romain Vernier.

- Compte tenu de la multiplicité des technologies et des paramètres à prendre en considération pour réaliser cette étude, un certain nombre d'hypothèses simplificatrices ont dû être faites. Elles seront détaillées dans chaque partie. Ce document est consacré uniquement aux systèmes les plus classiques. Aussi ne seront pas traitées dans ce dossier les fondations thermoactives, les corbeilles, ni la géothermie sur eaux usées.
- L'étude est divisée en quatre parties : les trois premières sont consacrées aux coûts respectifs des trois solutions technologiques représentatives (capteurs horizontaux, sondes géothermiques verticales « SGV » et doublets sur aquifère), la quatrième partie permet une comparaison entre ces différents systèmes et aussi avec les énergies conventionnelles.
- L'étude économique est effectuée pour les différents marchés : particulier, collectif et tertiaire. Chaque opération a été envisagée sous les aspects sous-sol (forage) et surface (PAC et appoint). Pour chacune de ces parties, l'investissement, la maintenance et les frais de fonctionnement ont été détaillés :
 - l'investissement représente le coût d'achat et d'installation du système ;
 - la maintenance est un coût annuel fixe qui prend en compte un contrat d'entretien et le renouvellement de certains éléments du système ;

- le fonctionnement représente le coût énergétique annuel (électricité, gaz).

- L'étude économique est réalisée sur la durée de vie de chaque système, évaluée à 50 ans. La présentation des résultats sous forme de graphiques se limite à une période de 25 ans pour plus de lisibilité.
- Devant l'hétérogénéité constatée dans l'enquête sur les coûts, l'AFPG a choisi de multiplier les sources afin de pouvoir définir des plages de prix pour chaque étape des projets géothermiques. Plusieurs dizaines d'acteurs de la filière ont participé à cette compilation. Leurs données ont été traitées avec un respect absolu de la confidentialité.
- Toutes les études présentées dans ce rapport sont fondées sur des cas généraux. Les particularités inhérentes à certaines opérations, telle que par exemple la présence sur un terrain d'une rivière dans laquelle pourrait être rejetée l'eau de la nappe pompée ne sont donc pas envisagées. Ces particularités peuvent considérablement abaisser ou augmenter les coûts d'une opération et ainsi les rendre plus ou moins intéressantes économiquement. Quel que soit le type d'opération envisagé (sur capteurs, sondes ou nappe) et la puissance géothermique recherchée, l'expertise d'un géologue est recommandée afin de connaître précisément les caractéristiques du sous-sol pour choisir la solution géothermique appropriée.
- Toutes les simulations ont été faites en considérant un financement sans recours au crédit.

B

HYPOTHÈSES

B.1. HYPOTHÈSES TECHNIQUES

PRODUCTION ET COUVERTURE GÉOTHERMIQUE

- Dans de nombreux cas, l'eau chaude sanitaire (ECS) pour les particuliers est assurée par un ballon d'eau chaude électrique. En revanche, pour les installations collectives, l'ECS représente une part significative de la dépense énergétique annuelle. Selon que les installations produisent de la chaleur pour le chauffage et pour l'ECS, le nombre d'heures de fonctionnement oscille entre 1 800 h et 2 200 h. Les calculs sont basés sur une moyenne de 2 000 h.
- Le système géothermique étudié produit de la chaleur et de l'eau chaude sanitaire au maximum de sa puissance durant 2 000 heures par an. Excepté pour le secteur de l'habitat individuel, seul le chauffage est considéré (pas de production d'ECS).
- Le rafraîchissement est simplement considéré comme une option pour les installations de fortes puissances, bien qu'il représente un avantage majeur de la géothermie par rapport aux autres renouvelables. En effet, une simple circulation d'eau géothermale (lorsque sa température est suffisamment basse) dans les émetteurs de chaleur permet le rafraîchissement, on parle alors de géocooling. La production de froid est réalisée en consommant uniquement un peu d'électricité pour la pompe de circulation et ce mode opératoire permet des coefficients de performance (COP) qui peuvent atteindre 60. L'utilisation de pompe à chaleur réversible permet la production de chaud et/ou de froid avec des COP analogues à ceux d'une simple pompe à chaleur.
- Pour les particuliers la couverture géothermique pour le chauffage a été fixée arbitrairement à 100 %, c'est-à-dire qu'aucun appoint n'est mis en œuvre. En revanche, pour le collectif et le tertiaire, la couverture géothermique prise en compte est de 90 %. L'appoint est réalisé alors par une chaudière gaz (seuls les coûts annuels de fonctionnement et de maintenance sont pris en compte).

DURÉE DE VIE

■ Toutes les installations (opérations sur capteurs horizontaux, SGV et aquifère) ont une durée de vie estimée à 50 ans. Néanmoins, la durée de vie des matériaux utilisés peut être plus élevée. En effet, les sondes verticales et capteurs horizontaux en PEHD ont une durée de vie de l'ordre de 100 ans. Les techniques sur capteurs horizontaux et verticaux ont vu le jour il y a seulement une trentaine d'années et les opérations les plus anciennes fonctionnent toujours sans problème. En ce qui concerne les doublets de forage d'eau, de très nombreux ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable sont encore exploités alors qu'ils ont été construits à la fin du 19^{ième} siècle.

COMPARAISON AVEC UNE ÉNERGIE DE RÉFÉRENCE

- Toutes les opérations sont comparées à une solution tout gaz de la même puissance que l'installation étudiée, couvrant donc les mêmes besoins.
- Dans les cas du collectif et du tertiaire, la chaufferie gaz est considérée comme déjà existante donc aucun coût d'investissement n'est à prévoir. Seuls des coûts de maintenance et de fonctionnement sont estimés.
- Dans le cas d'une installation chez un particulier, la géothermie est comparée à deux autres solutions énergétiques : le gaz naturel et le gaz propane. Dans les deux cas, la comparaison avec la géothermie (qui couvre tous les besoins en chaud sans aucun appoint) se base sur une chaudière à gaz neuve (coût d'investissement à prévoir) avec un renouvellement tous les 20 ans.
- L'option énergétique avec le gaz propane correspond majoritairement à des maisons en rénovation dans des zones sans réseau de gaz naturel (site isolé). Malgré son coût élevé et ses difficultés de mise en œuvre, le marché du gaz propane représente en France encore 3 % à 4 % des maisons neuves. C'est pourquoi, pour tenir compte de ce cas, l'investissement de la chaudière gaz propane est aussi pris en compte. Le prix de la chaudière au gaz propane est identique à celui de la chaudière au gaz naturel car la cuve est en général fournie gratuitement par les revendeurs.

B.2 HYPOTHÈSES THERMIQUES

- La puissance et les besoins annuels en chaleur sont calculés et résumés dans le tableau suivant.

	Puissance (kW)	Besoins annuels en chaleur (MWh)
Particuliers	8	16
Collectif	120 – 300	240 – 620
Tertiaire	1 000 – 1 200	2 170 – 2 400

TABEAU 1
Puissance et
production
annuelle de
chaleur pour
les trois secteurs

- Le marché du particulier correspond à une maison individuelle.
- Le marché du collectif (logements, écoles, EHPAD ...) représente des bâtiments de 20 à 50 équivalents logements.
- Le marché du tertiaire (bureaux, ensemble de logements, bâtiments publics, centres commerciaux ...) représentent des bâtiments de 200 à 300 équivalent logements.

B.3. HYPOTHÈSES ÉCONOMIQUES

- Tous les coûts utilisés dans cette étude sont hors taxe (HT).

COÛTS DE L'ÉNERGIE

- Les coûts de l'énergie (hors taxe) proviennent de la base de données PEGASE du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Ils sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

TABEAU 2
Coûts de l'énergie

	Prix de l'électricité (€/kWh)	Prix du gaz (€/kWh)	Abonnement gaz (€)	Prix du propane (€/kWh)
Particuliers	0,118	0,059	185	0,134
Collectif	0,08	0,051	1093	–
Tertiaire	0,08	0,051	1093	–

- Le coût de l'abonnement à l'électricité est inclus dans le prix du kWh d'électricité.
- Un scénario avec inflation du coût de l'électricité et du gaz sera présenté comme une variante dans certains cas. L'inflation du gaz est estimée à 5 % par an et celle de l'électricité à 5,8 % par an (source Insee de 2011 à 2014).

POMPES À CHALEUR

- Le coût de la partie en surface d'un système géothermique correspond essentiellement à celui de la pompe à chaleur (PAC). Il est plus aisément chiffrable car indépendant du type de géothermie (sur aquifère, sonde ou capteurs). Le prix d'une pompe à chaleur dépend principalement de la puissance thermique qu'elle doit fournir. L'AFPG a donc fait l'inventaire des coûts standard dans les catalogues de fabricants de PAC et auprès d'installateurs. Les coûts d'investissement, de fonctionnement et d'entretien des PAC sont ceux des matériels fonctionnant avec le R 410 A qui est le fluide frigorigène le plus répandu en France.
- Le coefficient de performance (COP) moyen annuel de chaque PAC est fixé à 4. Les services Recherche et Développement des fabricants de PAC travaillent activement à l'amélioration du COP. Il existe déjà sur le marché des PAC qui affichent des COP machine de l'ordre de 6, on peut donc espérer, dans les années à venir, une augmentation des COP, ce qui permettra une réduction de la consommation en électricité et donc du coût de fonctionnement.
- Dans tous les scénarios, la PAC est renouvelée tous les 20 ans. Les coûts de maintenance donnés ci-dessous correspondent uniquement à une visite technique annuelle.
- Le tableau suivant décrit les coûts d'investissement et de maintenance liés aux PAC.

TABEAU 3
Coûts d'investissement et de maintenance des PAC

Puissance (kW)	Investissement (€)	Maintenance (€/an)
8	7 500	250
120	30 000	1 000
300	75 000	1 000
1 000	300 000	2 500
1 200	360 000	2 500

AIDES ET SUBVENTIONS

- Les particuliers peuvent bénéficier du Crédit d'Impôt pour le Développement Durable (CIDD) pour la mise en place de pompes à chaleur à capteurs enterrés dédiés à la production de chaleur. La pose de l'échangeur de chaleur souterrain est incluse dans l'assiette prise en compte. En 2014, le CIDD s'élève à 15 % de l'investissement pour une action d'amélioration et à 25 % (taux majoré) s'il s'agit d'un bouquet de travaux.
- Le montant du crédit d'impôt est plafonné à :
 - 8 000 € pour une personne seule;
 - 16 000 € pour un couple soumis à une imposition commune;
 - 400 € par personne supplémentaire à charge.
- Dans l'étude économique qui suit, les travaux liés à la géothermie s'inscrivent dans un bouquet de travaux. Le crédit d'impôt est plafonné à 25 % des investissements.
- Pour les secteurs collectif et tertiaire, les installations sur nappe et sur sondes verticales peuvent être subventionnées par le Fonds Chaleur de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Les dossiers de subventions sont gérés par les ADEME régionales via des Appels à Projet.
- Depuis 2014, les subventions de l'ADEME sont forfaitaires. L'ADEME subventionne sur la base d'une production minimale de l'installation. Une aide forfaitaire maximale en €/TEP est allouée, l'aide est calculée sur la production géothermique pendant 20 ans.
- Le calcul de l'aide est fondé sur la quantité d'énergie produite par l'échangeur souterrain pour une durée annuelle minimale de fonctionnement de 1000 h à 100 % de la puissance installée.
- Pour les opérations sur aquifère, l'ADEME subventionne les installations à partir de 6 TEP EnR/an soit environ 70 MWh. Cette production correspond à un débit d'eau souterraine de l'ordre de 14 m³/h produite à 12°C et réinjectée à 6°C. Pour les opérations sur sondes, l'ADEME subventionne les installations à partir de 3 TEP EnR/an soit environ 35 MWh, ce qui correspond à une installation comprenant 5 à 7 SGV.
- Le tableau suivant résume les aides accordées à la géothermie par le Fonds Chaleur de l'ADEME.

	Opération sur SGV		Opération sur aquifère	
	3 – 12	> 12	6 – 25	> 25
Production en TEP EnR/an	3 – 12	> 12	6 – 25	> 25
Puissance équivalente en kW	35 – 140	> 140	70 – 420	> 420
Subvention maximale en €/TEP	325	415	100	120

- Au final, les hypothèses économiques sont basées sur l'analyse faite par l'ADEME du montant des subventions accordées en 2013. **Pour les sondes verticales, le taux d'aide moyen est d'environ 30 % de l'investissement et il est de seulement 20 % pour les opérations sur aquifères.**
- Pour chaque technologie, plusieurs scénarios sont présentés : avec et sans subventions, avec et sans inflation du coût de l'énergie.

TABLEAU 4
Aides du Fonds
Chaleur de l'ADEME
2014

- D'autres aides existent et peuvent, dans certains cas, être allouées à la géothermie, parmi elles : la TVA réduite, l'Éco-prêt à taux zéro pour l'habitat individuel, les aides de l'ANAH (Agence Nationale de l'Habitat), le FEDER ...
- Certaines Régions peuvent également allouer des aides à la géothermie :
 - Alsace : voir le site www.energievie.info.
 - Auvergne : voir le site www.auvergne.fr.
 - Basse Normandie : aide de 30 % montant TTC (plafonné à 1 000 €) de la part d'un projet non éligible au crédit d'impôt pour les PAC avec captage sur nappe d'eau (COP > 4,5).
 - Bretagne : www.bretagne.fr.
 - Centre : le prêt à taux zéro Isolaris Centre accorde 15 000 € pour une PAC géothermique sur nappe et sonde verticale uniquement, dotée d'un COP ≥ 3,3 et référencée NF PAC.
 - Champagne-Ardenne : aide au développement de la géothermie au sein des bâtiments agricoles.
 - Haute-Normandie : aide pour l'installation d'une pompe à chaleur eau/eau présentant un COP supérieur à 4.
 - Ile-de-France : aide de 1 300 € sur la main d'œuvre pour une pompe à chaleur géothermale sur nappe ou sur capteurs verticaux ou horizontaux, sous conditions de ressources et de performance énergétique (COP ≥ 4) et d'utilisation de matériel certifié NF PAC ou labélisé EHPA ou encore l'écolabel européen.
 - Limousin : www.region-limousin.fr/Les-aides-Environnement.
- Les Espace Infos Energies ainsi que les sites de Qualit'EnR et de l'ANIL (Agence Nationale pour l'Information sur le Logement) renseignent sur les aides locales et régionales.

C

PRODUCTION DE FROID

C.1. GÉOCOOLING

- Le sous-sol a une température constante à partir de quelques mètres de profondeur. Selon la région et l'altitude du site, cette température est comprise entre 8°C et 16°C en France. Le sous-sol peut donc faire office de réservoir de froid pendant l'été. Le principe du géocooling consiste à utiliser la fraîcheur naturelle du sol, sans mise en service de la pompe à chaleur, pour assurer le refroidissement direct des circuits de distribution d'eau des bâtiments.
- Cette technique est favorisée par l'émergence de l'utilisation d'émetteurs très basse température : plancher chauffant, poutre rafraîchissante, plafond rayonnant, centrale de traitement de l'air, ventilo-convecteurs ...
- Le géocooling ne nécessite pas d'investissement supplémentaire et en période d'exploitation son fonctionnement est assuré par une pompe de circulation qui consomme très peu d'énergie. Le coût de fonctionnement est donc très bas.

- Un autre avantage du géocooling est qu'il recharge en calories le sol durant l'été et qu'il augmente la durée de vie de l'échangeur souterrain, en particulier pour les champs de sondes.
- Le système géothermique peut assurer 800 heures de rafraîchissement par an (hypothèse fixée pour les calculs).

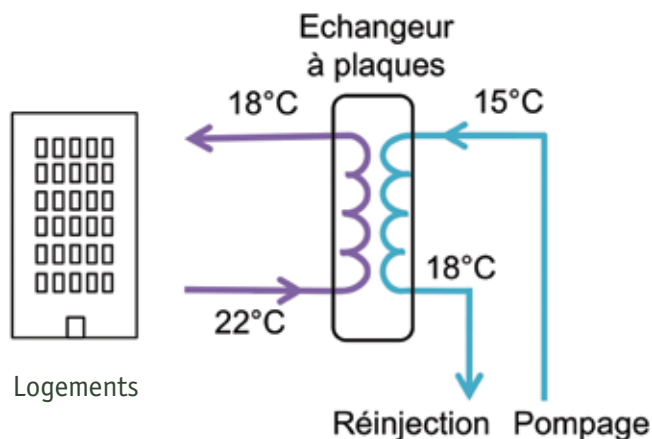


SCHÉMA 2
Fonctionnement
du système en
mode géocooling

C2. POMPE À CHALEUR RÉVERSIBLE ET THERMOFRIGOPOMPE

- Dans les cas où les besoins de froid sont plus importants, il peut être nécessaire de produire du froid grâce à la PAC. Une pompe à chaleur réversible assure suivant les besoins la production de chaleur ou la production de froid.
- En mode froid, le fonctionnement de la PAC est identique dans son principe à celui du fonctionnement en mode chaud.
- En utilisant une thermofrigopompe, la production simultanée de chaud et de froid est possible. Cette technologie est surtout utilisée pour des bâtiments importants dont une partie a besoin d'eau glacée alors que l'autre a besoin d'eau chaude (hôpital, salle informatique, bureaux ...).

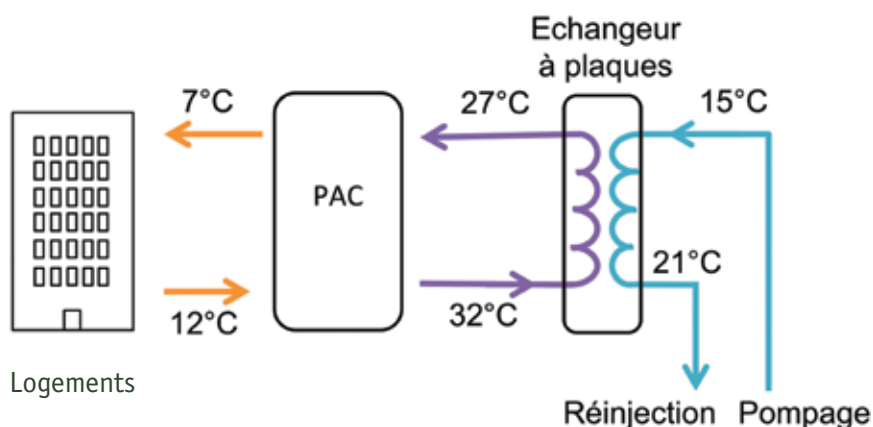


SCHÉMA 3
Fonctionnement
du système en
mode climatisation



1

GÉOTHERMIE SUR CAPTEURS HORIZONTAUX

LES CAPTEURS HORIZONTAUX SONT MAJORITAIREMENT UTILISÉS DANS LE SECTEUR DE L'HABITAT INDIVIDUEL.

ILS REPRÉSENTENT ENVIRON 25 % DU MARCHÉ GÉOTHERMIQUE POUR LES PARTICULIERS. CES INSTALLATIONS NÉCESSITENT UNE GRANDE EMPRISE AU SOL, DE L'ORDRE DE 2 À 2,5 FOIS LA SURFACE À CHAUFFER SELON L'ISOLATION DU BÂTIMENT. ENTERRÉS À FAIBLE PROFONDEUR, CES CAPTEURS PEUVENT ASSURER LE CHAUFFAGE ET LE RA-FRAÎCHISSEMENT D'UNE MAISON INDIVIDUELLE.

Afin de pouvoir estimer le coût des opérations sur capteurs horizontaux, des informations ont été récupérées auprès des principales entreprises actives sur ce marché. Il n'y a pas d'opérations de ce type pour les secteurs collectif et tertiaire, en effet les surfaces de captage seraient trop importantes et les disponibilités de terrain ainsi que le coût foncier ne permettent pas leur réalisation.

De plus, les terrains adaptés ne peuvent pas être en pente et les sites où les roches dures sont affleurantes rendent la pose de capteurs horizontaux impossible.

1.1 ETUDE PRÉLIMINAIRE

- Le coût d'investissement pour une opération sur capteurs géothermiques horizontaux dépend essentiellement des déperditions de la maison : plus celles-ci sont importantes, plus la longueur du réseau enterré sera grande et donc le montant d'investissement élevé. Les coûts de maintenance et de fonctionnement sont très faibles comparativement aux coûts d'investissement, en effet ces systèmes ne requièrent pratiquement aucun entretien pour la partie liée à l'échangeur souterrain.

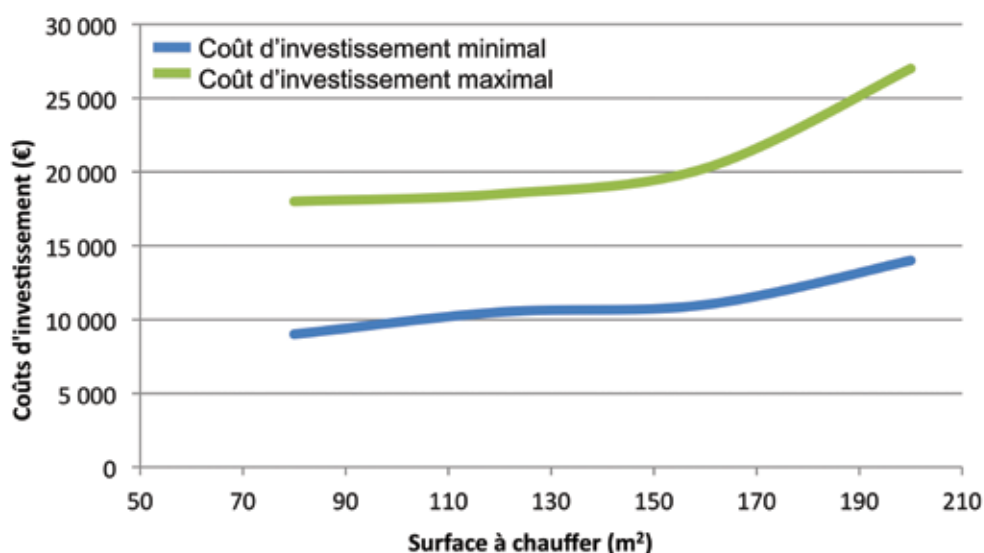


FIGURE 1
Évolution du coût
d'investissement
global en fonction
de la superficie à
chauffer

- Le graphique ci-dessus confirme que plus les déperditions sont grandes, plus le coût d'investissement global est élevé. C'est la raison principale pour laquelle les capteurs géothermiques horizontaux s'adressent majoritairement au marché de l'habitat individuel.

HYPOTHÈSES

1.2

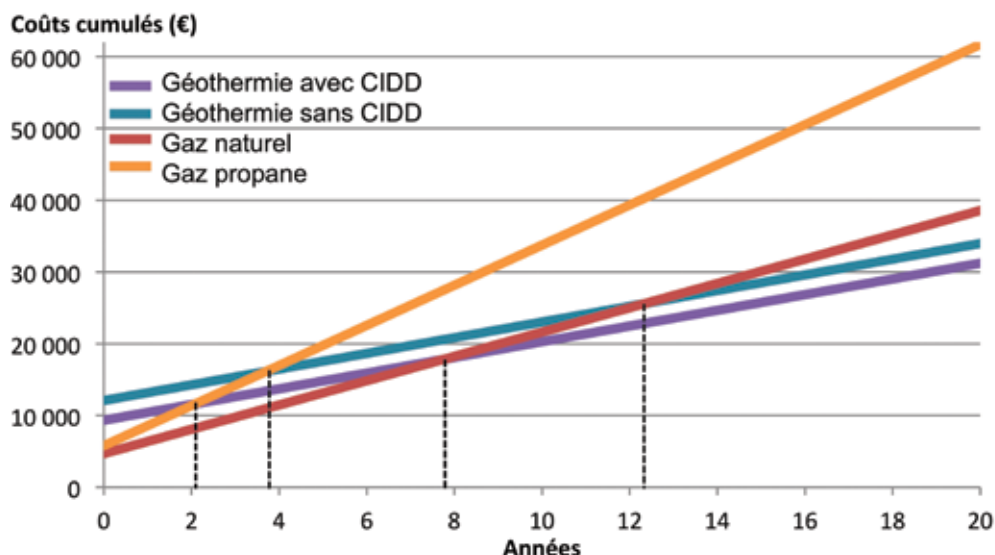
- Les dépenses annuelles sont calculées pour une maison individuelle de 130 m² avec une PAC de 8 kW. Les éléments économiques sont détaillés dans le tableau suivant.

Géothermie	
Investissement capteurs	3 500 €
Investissement PAC	7 500 €
Investissement total	11 000 €
Maintenance	625 €/an
Fonctionnement	470 €/an
Gaz naturel	
Investissement	3 000 €
Maintenance	685 €/an
Fonctionnement	1 000 €/an
Gaz propane	
Investissement	3 000 €
Maintenance	500 €/an
Fonctionnement	2 295 €/an

TABEAU 5
Coûts du système
géothermique sur
capteurs horizon-
taux et des solu-
tions avec gaz

1.3 RÉSULTATS

FIGURE 2
Coûts
cumulés du système
géothermique
horizontal



■ D'après le graphique des coûts annuels cumulés en fonction du temps, on remarque qu'au bout de 13 ans de fonctionnement la solution géothermique sur capteurs horizontaux sans CIDD est compétitive par rapport à une chaudière au gaz naturel. En effet, les coûts de fonctionnement du système géothermique sur capteurs horizontaux sont seulement liés aux coûts d'entretien et de consommation d'électricité de la PAC, alors que les coûts de fonctionnement d'une chaudière gaz sont à la fois composés de l'entretien de la chaudière, mais aussi et surtout de la consommation en gaz.

■ La compétitivité de la géothermie par rapport au scénario gaz propane est encore bien plus rapide. Après seulement 4 ans de fonctionnement la géothermie est plus avantageuse. Si elle bénéficie du CIDD, c'est au bout de 2 ans qu'elle devient plus rentable que l'option propane et au bout de 8 ans pour une solution avec le gaz naturel.

■ Avec l'obtention du CIDD, la géothermie permet d'économiser 25 300 € au bout de 50 ans par rapport à une solution gaz naturel, soit 500 €/an. Dans le cas du propane, c'est plus du double soit 81 500 € qui sont économisés après 50 ans de fonctionnement, soit 1 600 €/an.

■ Le graphique suivant prend en compte l'inflation des coûts de l'énergie : gaz et électricité.

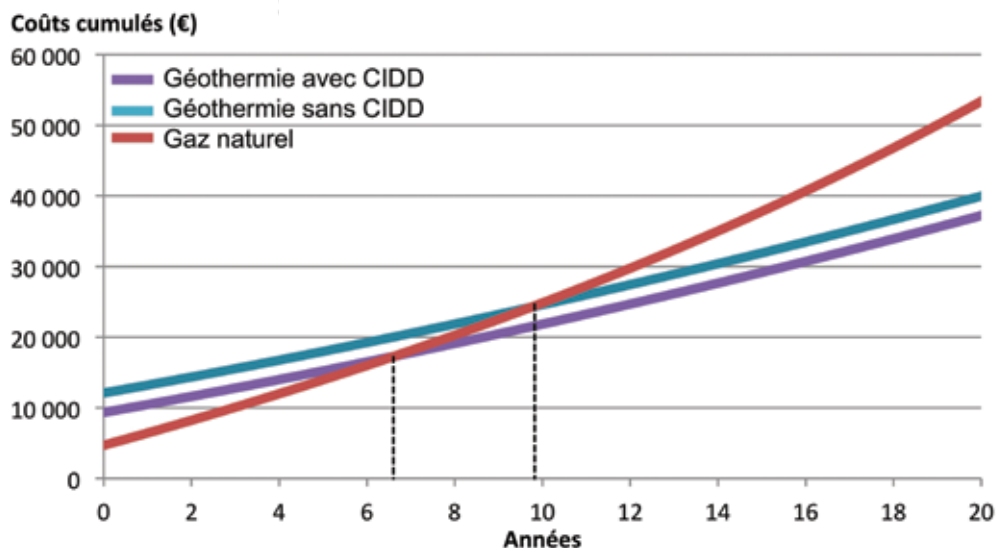


FIGURE 3
Coûts cumulés
du système
géothermique
horizontal
avec inflation

- La prise en compte de l'inflation bonifie de 1 à 3 ans les temps de retour.

CONCLUSION SUR LES CAPTEURS HORIZONTAUX

1.4

- Les systèmes sur capteurs horizontaux restent bien adaptés aux besoins des particuliers ayant une grande surface de terrain à disposition. Par rapport à une chaudière au gaz naturel, ces systèmes sont compétitifs au bout d'environ 8 ans et encore plus avantageux par rapport à une chaudière au gaz propane.

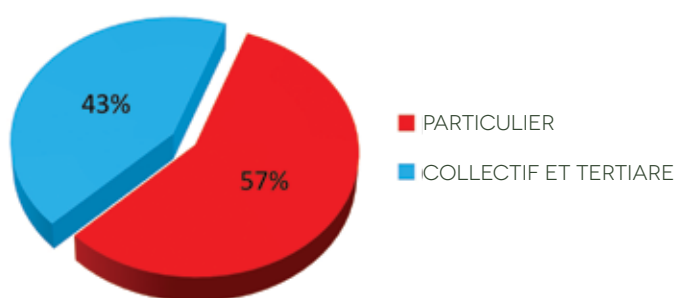
2

GÉOTHERMIE SUR SONDES VERTICALES

LA GÉOTHERMIE SUR SONDES VERTICALES (SGV) EST UN MARCHÉ QUI CONCERNE AUJOURD'HUI AUSSI BIEN LES PARTICULIERS QUE LE SECTEUR TERTIAIRE ET COLLECTIF EN FRANCE.

EN TERME DE PUISSANCE CUMULÉE INSTALLÉE, LE MARCHÉ DES SGV SE RÉPARTIT ASSEZ ÉQUITABLEMENT ENTRE PARTICULIERS ET COLLECTIF. ELLES REQUIÈRENT UNE MOINS GRANDE EMPRISE AU SOL QUE LES CAPTEURS HORIZONTAUX ET SONT DONC PRIVILÉGIÉES POUR LES OPÉRATIONS QUI NE DISPOSENT PAS D'UNE SURFACE AU SOL CONSÉQUENTE, NOTAMMENT EN MILIEU URBAIN.

FIGURE 4
Répartition
par marché des
puissances instal-
lées sur sondes
géothermiques
verticales



2.1

CONTEXTE

- Les caractéristiques du sous-sol jouent un rôle fondamental dans une opération géothermique sur sondes verticales, notamment : conductivité, chaleur spécifique, structure, perméabilité... Ces éléments influent sur le dimensionnement de l'installation et sur les techniques de forages à mettre en œuvre, et donc sur le coût final du projet.

- La présence d'eau dans le sol est un élément primordial. En effet, l'eau augmente la conductivité du sol et permet donc une meilleure extraction des calories du sous-sol.
- Le tableau ci-dessous résume les propriétés de plusieurs types de formations géologiques.

Type de roche	Conductivité thermique (W/m.K)	Capacité thermique spécifique (MJ/m³.K)
Argile	1,9	2,2
Sable sec	0,5	1,4
Sable mouillé	2,3	2,4
Granite	2,8	2,4
Calcaire	2,8	2,2
Schiste	1,9	2,3

TABLEAU 6
Conductivités thermiques et capacités spécifiques de plusieurs types de roche

- Ce tableau illustre la grande variation des propriétés des formations géologiques en fonction de la nature des roches qui les constituent. Un forage peut traverser des formations de natures différentes et en conséquence la conductivité thermique d'une sonde sera la somme des conductivités de chacune des formations rencontrées. Le tableau met bien en évidence l'avantage d'un sol mouillé par rapport à un sol sec. En effet, le sable mouillé présente une conductivité thermique 4,6 fois supérieure à celle du sable sec.
- Dans le cas de production de chaleur, la puissance maximale fournie par le sous-sol décroît en fonction du nombre d'heures de production. Un nombre d'heure de fonctionnement annuel autour de 1 800 heures est recommandé pour ne pas extraire du sous-sol une quantité trop importante de calories qui conduirait à terme à la gélification.
- En revanche, si un rafraîchissement géothermique est prévu l'été, le sol sera rechargé en calories et permettra ainsi l'équilibre thermique du sous-sol sur une très grande période.
- Les propriétés du sous-sol déterminent donc le taux d'extraction de chaleur qui sera différent suivant la géologie et l'hydrogéologie. Une valeur de 40 W/m d'extraction de chaleur par mètre de sonde réalisée est considérée comme basse et une valeur de 60 W/m est considérée comme excellente. **Une valeur moyenne de 50 W/m a été utilisée dans les calculs de l'étude.**

HYPOTHÈSES

2.2

- Pour les trois types de bâtiments étudiés, il a été considéré que la profondeur des sondes était de 100 mètres.

	Particuliers	Collectif	Tertiaire
Puissance moyenne (kW)	8	120	1200
Mètres de sondes verticales (50 W/m)	120	1 800	18 000
Nombre de sondes	1,2	18	180

TABLEAU 7
Paramètres des systèmes géothermiques sur sondes verticales étudiées

TABEAU 8
Coûts du système géothermique sur sondes verticales et des solutions gaz

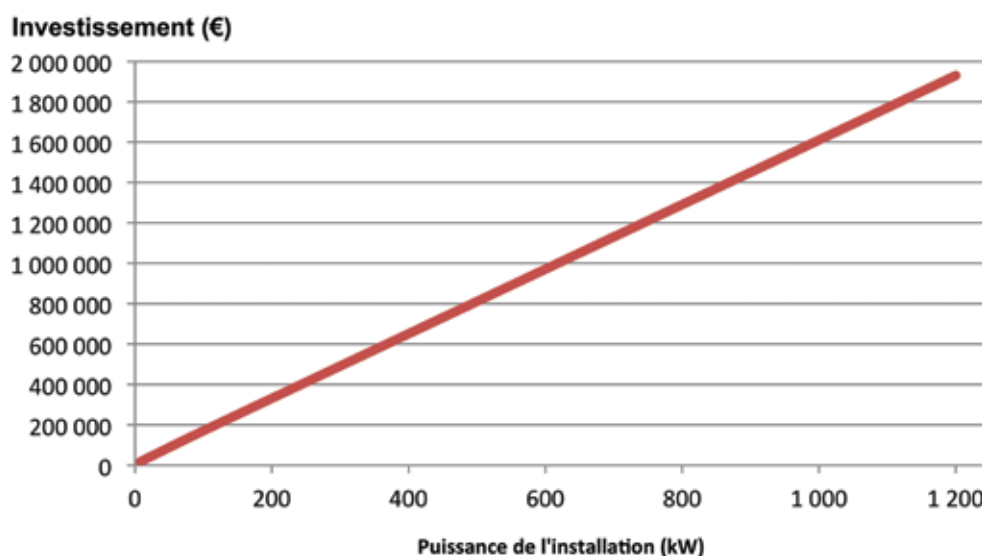
- Notre inventaire des prix moyens du mètre de sonde pour une réalisation respectant les normes a montré une fourchette de prix entre 55 €/m et 85 €/m. Ce prix peut varier en fonction de la région, de la géologie locale et de la densité plus ou moins grande d'entreprises de forages. Par exemple, en région Ile-de-France, l'aménagement urbain très dense entraîne des complications de mise en œuvre qui font augmenter le prix du mètre de sonde. A contrario, en Bretagne les formations géologiques composées essentiellement de roches dures permettent une diminution du temps de forage pour réaliser une sonde et corrélativement son coût. Tous les calculs ont été réalisés avec une valeur moyenne de 60 €/m.
- Les éléments économiques sont détaillés dans le tableau suivant. L'investissement est en euros. La maintenance et le fonctionnement sont en euros par an.

Géothermie			
	Investissement	Maintenance	Fonctionnement
Particuliers	14 700	625	400
Collectif	170 000	2 749	5 544
Tertiaire	1 540 000	22 909	55 440
Gaz naturel			
	Investissement	Maintenance	Fonctionnement
Particuliers	3 000	685	1 000
Collectif	–	6 000	13 160
Tertiaire	–	21 500	131 600
Gaz propane			
	Investissement	Maintenance	Fonctionnement
Particuliers	3 000	500	2 295

2.3 RÉSULTATS

- Les économies d'échelle sont un facteur influant la réalisation d'installations de forte puissance. Le graphique suivant illustre les coûts d'investissement pour une installation sur sondes verticales en fonction de la puissance de l'installation.

FIGURE 5
Coûts d'investissement en fonction de la puissance de l'installation (SGV)



- On remarque que les coûts d'investissement augmentent linéairement en fonction de la puissance de l'installation, en conséquence les économies d'échelle sont faibles.
- Plusieurs simulations sont effectuées pour les trois type de bâtiment : individuel, collectif et tertiaire.

Pour les particuliers, les scénarios géothermie avec et sans CIDD sont comparés avec les solutions gaz naturel et gaz propane.

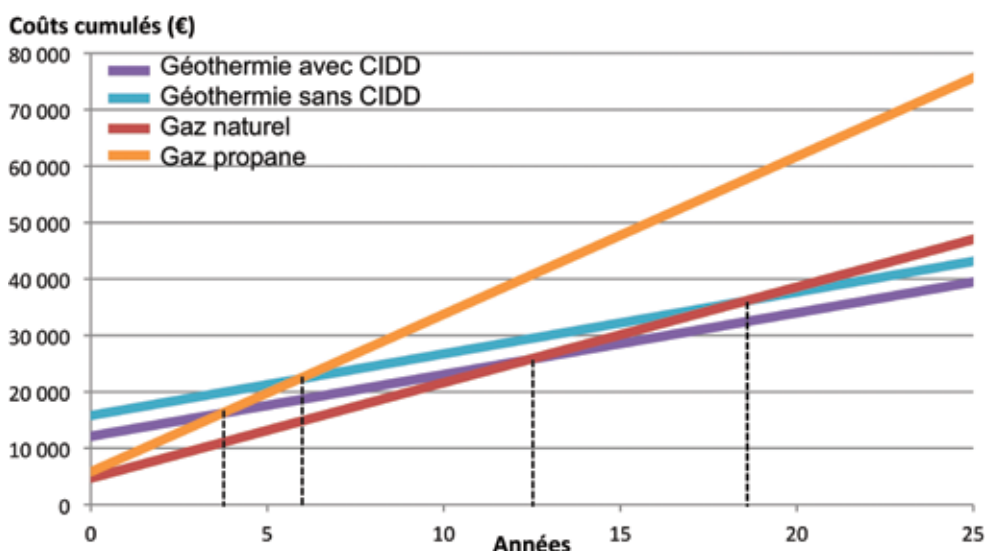


FIGURE 6
Coûts cumulés
du système sur
SGV pour les
particuliers

- La solution géothermie sur sondes bénéficiant du crédit d'impôt est largement compétitive par rapport à la solution propane. Elle permet d'économiser 78 700 € sur 50 ans, soit 1 500 € par an.
- Par rapport au gaz naturel, la solution géothermique grâce au crédit d'impôt reste économiquement viable avec des temps de retour de 13 ans.
- Le graphique suivant intègre l'inflation des coûts du gaz et de l'électricité.

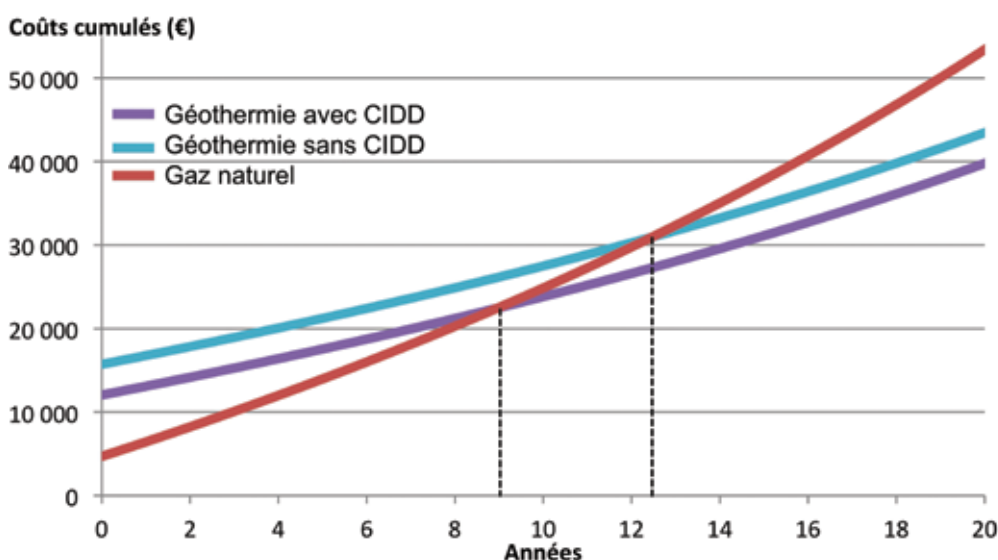
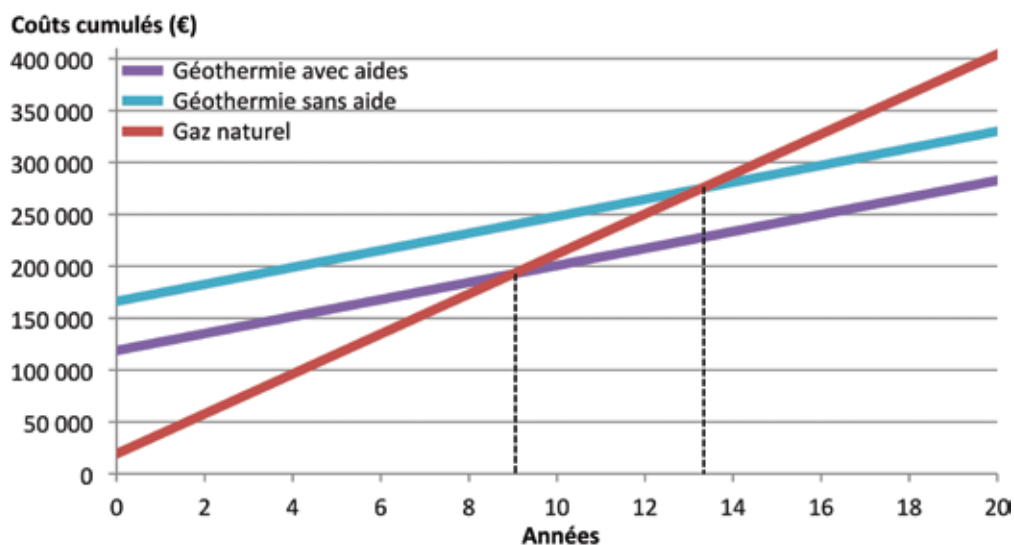


FIGURE 7
Coûts cumulés du
système sur SGV
avec inflation pour
les particuliers

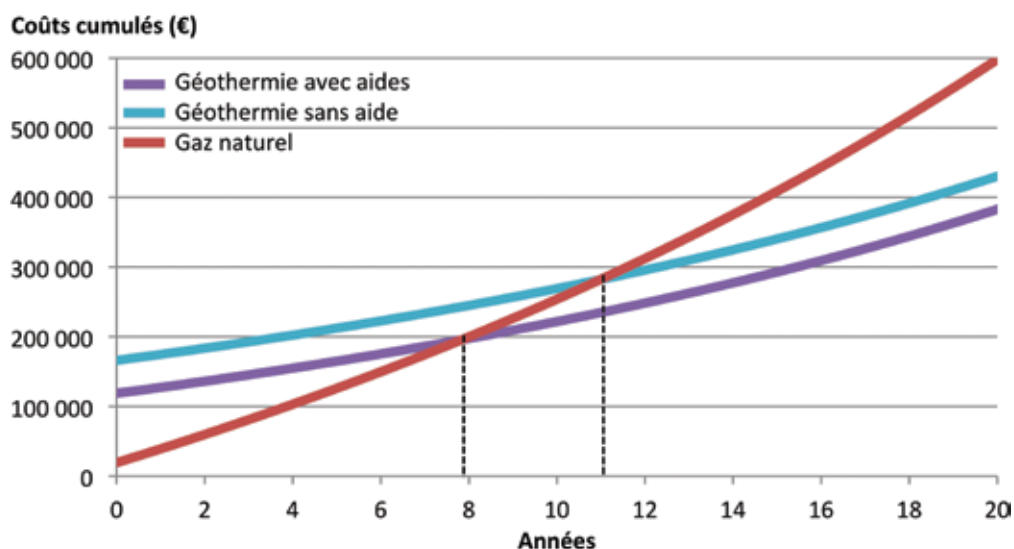
- Dans ce scénario, l'installation géothermique sans CIDD devient plus avantageuse qu'une solution au gaz naturel au bout de 13 ans et avec CIDD au bout de 9 ans. En effet la solution géothermique consomme quatre fois moins d'énergie que la chaudière gaz et les hypothèses d'inflation du coût du gaz et de l'électricité sont suffisamment proches pour donner un avantage déterminant à la géothermie.

FIGURE 8
Coûts cumulés du
système sur SGV
pour le collectif



- Les temps de retour pour le collectif sont de l'ordre de 13 ans et la subvention de l'ADEME permet de réduire le temps de retour de 4 ans.
- Le graphique suivant intègre l'inflation du coût des énergies.

FIGURE 9
Coûts cumulés du
système sur SGV
avec inflation
pour le collectif



- Dans le scénario « inflation », les temps de retour sur investissement de la géothermie par rapport au gaz naturel chutent de 1 à 3 ans pour les mêmes raisons que pour les particuliers.

Pour le secteur tertiaire, la solution géothermie avec et sans aides (Fonds Chaleur) est comparée à une solution gaz.

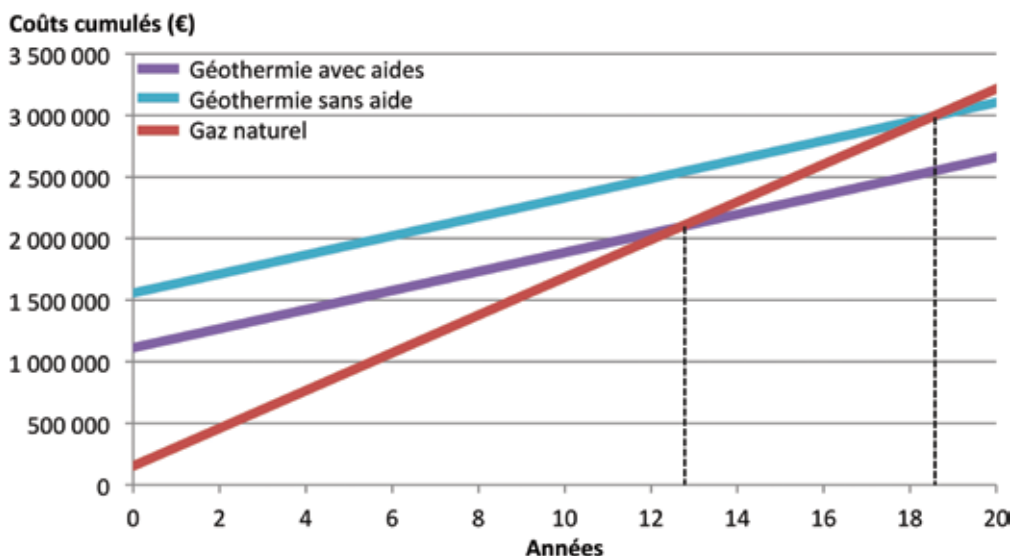


FIGURE 10
Coûts cumulés du système sur SGV pour le tertiaire

- La solution géothermie avec aide a un temps de retour sur investissement de 13 ans par rapport à la solution gaz. Les économies d'échelle sont faibles pour les SGV car le nombre de sondes verticales augmente proportionnellement à la puissance thermique appelée. A contrario, pour la solution gaz naturel, les économies d'échelle sont assez importantes. C'est pourquoi, les temps de retour des installations sur SGV pour le collectif et le tertiaire ne sont pas significativement abaissés par rapport à la solution gaz.
- Le graphique suivant illustre le scénario « inflation ».

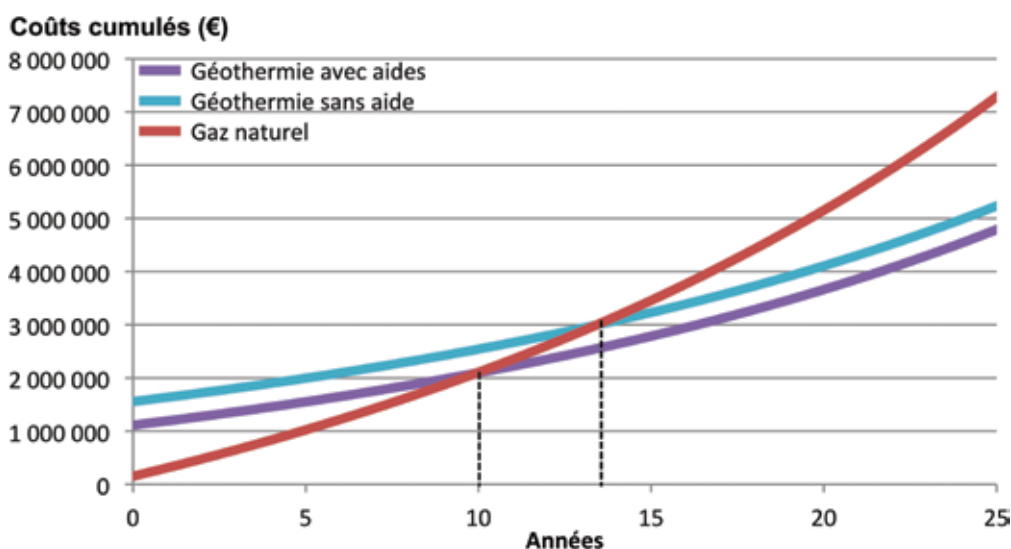


FIGURE 11
Coûts cumulés du système sur SGV avec inflation pour le tertiaire

- Dans le scénario « inflation » pour le secteur tertiaire, les temps de retour sur investissement de l'option géothermie par rapport au gaz diminuent de 3 à 5 ans. Sans aide le système sur sondes verticales devient rentable au bout de 14 ans et avec aide au bout de 10 ans.

- Pour les maisons individuelles, cette technique est bien adaptée : elle est compacte et donc ne nécessite pas un grand terrain disponible. Les temps de retour en substitution au gaz naturel et en tenant compte du crédit d'impôt sont d'environ 13 ans, en substitution au propane le temps de retour peut descendre jusqu'à 4 ans.
- Pour le petit collectif, les temps de retour par rapport au gaz naturel se situent entre 9 et 13 ans. Dans cette gamme de puissance, l'avantage décisif de la technique est la disponibilité de la ressource sur plus de 85 % du territoire national.
- Pour le tertiaire et le grand collectif, les temps de retour sont moins bons : entre 13 et 19 ans. En revanche, lorsque l'installation a des besoins de froid et si le géocooling est possible, le temps de retour du système par rapport au gaz naturel s'améliore considérablement.
- Par manque de données, le scénario rafraîchissement n'a pu être quantifié, mais la prochaine édition aura pour objectif de l'intégrer.

Collecteur des 32 sondes géothermiques verticales de la Tour de contrôle de Chambley en Lorraine



© Mannfor



GÉOTHERMIE SUR AQUIFÈRE

3

CONTEXTE ET PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

3.1

COMME LE MONTRE LA RÉPARTITION DES PUISSANCES INSTALLÉES, LES SYSTÈMES DE POMPE À CHALEUR SUR NAPPE D'EAU SOUTERRAINE SONT PRINCIPALEMENT RÉALISÉS DANS LES SECTEURS COLLECTIF ET TERTIAIRE, EN RAISON PRINCIPALEMENT DES IMPORTANTS COÛTS D'INVESTISSEMENT. NÉANMOINS, DES SYSTÈMES DE PAC SUR NAPPES PEU PROFONDES (DE 1 M À 15 M) PEUVENT PARFOIS ÊTRE MIS EN PLACE POUR LES PARTICULIERS.

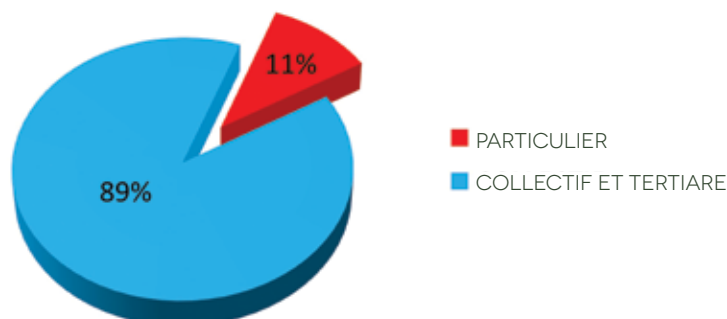


FIGURE 12
Répartition
par marché des
puissances
installées
sur aquifère

- Le principe du forage sur nappe consiste à pomper l'eau d'une nappe souterraine, à utiliser ses calories ou frigories puis à réinjecter l'eau utilisée dans la nappe. Plusieurs facteurs vont avoir un rôle crucial dans l'efficacité d'une opération géothermique sur aquifère : la température et le débit de l'aquifère, l'espacement entre les forages, le type d'aquifère ...

- Le système géothermique va influencer la température de la nappe. En effet, l'eau est pompée à une température haute et rejetée à une température plus basse (dans le cas de production de chaleur) : c'est le principe de l'échange thermique. Pour que la température de l'eau réinjectée ne soit pas recyclée au puits de production, il est indispensable de respecter une certaine distance entre les deux forages. Elle dépend notamment du débit. Dans l'étude trois cas de figure sont envisagés : 40 m, 100 m et 200 m d'espacement entre les deux forages d'un doublet.

3.2 HYPOTHÈSES

3.2.1. HYPOTHÈSES TECHNIQUES

- Pour les forages sur nappe, trois cas ont été étudiés correspondant à des débits croissants (notés de 1 à 3 dans le tableau ci dessous). Ces trois classes de débits sont liées au diamètre des pompes électriques immergées nécessaires pour assurer le débit souhaité. Ce diamètre influence directement le diamètre de réalisation du forage et donc son coût. Il a été considéré que les aquifères pris en compte n'étaient pas artésiens et qu'il n'était pas nécessaire de mettre en place une pompe de surface pour la réinjection. Le tableau suivant décrit les paramètres retenus pour le système géothermique en fonction du débit.

DIFFERENTS CAS D'ETUDES	1	2	3	4
Diamètre de la pompe	4"	6"	> 8"	2"
Gamme de débit (m ³ /h)	2 à 15	15 à 80	> 80	1 à 3
Puissance thermique (kWth)	0 à 80	80 à 500	> 500	5 à 18
Débit moyen adopté (m ³ /h)	7	40	140	2
Puissance moyenne (kWth) avec $\Delta T=5$	50	300	1 000	15
Espacement entre forages (m)	40	100	200	20

- Le delta de température (ΔT), représente la différence entre la température de l'eau géothermale au puits de production et la température de rejet dans l'aquifère après échange de chaleur. Un ΔT de 5°C a été fixé, celui-ci permet de bénéficier d'un bon coefficient de performance mais des ΔT de 6°C voir 7°C sont tout à fait envisageables. Dans le cas où le ΔT est égal à 6°C, le gain sur la puissance thermique du doublet est de 20 %.

- D'autre part, pour la partie investissement, il a été tenu compte pour chacun des trois débits d'une profondeur de forage différente :

- jusqu'à 25 mètres : superficiels;
- jusqu'à 100 mètres : profonds;
- jusqu'à 200 mètres : très profonds.

- En effet, les conditions géologiques et hydrogéologiques sont extrêmement variables si l'on se trouve dans une vallée alluviale ou au sommet d'un plateau et en conséquence un débit de 50 m³/h peut être parfois obtenu en réalisant un ouvrage de 10 mètres de profondeur. La profondeur maximale de 200 mètres a été prise en compte dans notre étude pour anticiper la publication d'un nouveau décret sur la géothermie de minime importance qui permet la réalisation de forages géothermiques jusqu'à une profondeur maximum de 200 mètres et d'une puissance de moins de 500 kW. En revanche, les coûts de maintenance varient peu en fonction de la profondeur. En conséquence et pour tenir compte de 3 gammes de débits et de 3 gammes de profondeurs c'est 9 cas qui ont été étudiés.

TABLEAU 9
Paramètres
des systèmes
géothermiques
sur aquifère
étudiés

■ Dans l'étude, tous les résultats ne sont pas présentés : pour simplifier la présentation, les graphiques ne représentent que les coûts de la partie sous-sol à une profondeur moyenne de 100 mètres pour chaque débit.

■ Enfin, une quatrième classe de débit (noté 4 dans le tableau) peut être signalée : il s'agit du doublet géothermique pour les particuliers dans des conditions hydrogéologiques très favorables d'une nappe superficielle qui se situe entre 1 et 15 mètres de profondeur permettant un débit d'environ 2 m³/h. La puissance de la pompe dépasse rarement 1 kW car le niveau statique de la nappe est alors très proche de la surface. Cette configuration permet d'atteindre une puissance thermique d'environ 15 kW, suffisante pour assurer les besoins en chaleur et en eau chaude sanitaire d'une maison individuelle et si besoin du rafraîchissement en été.

3.2.2. HYPOTHÈSES ÉCONOMIQUES

Pour chacun de ces cas, l'étude prend en compte :

- l'investissement initial pour réaliser l'installation géothermique ;
- les coûts de fonctionnement (comprenant l'électricité dépensée pour le fonctionnement de la pompe immergée, des auxiliaires et celui de la pompe à chaleur) ;
- les coûts de maintenance, auxquels sont intégrés les coûts de renouvellement des pompes à chaleur et des éléments du forage.

3.2.2.1. POUR L'INVESTISSEMENT INITIAL

- Partie sous-sol
 - Les deux forages ;
 - Les regards de tête de puits ;
 - La pompe et la colonne d'exhaure ;
 - Les liaisons hydrauliques et électriques entre forages, évaluées en prenant en compte des espacements respectifs de 40, 100 et 200 mètres ;
 - L'ingénierie.
- Partie surface
 - La PAC ;
 - L'interface échangeur intermédiaire de chaleur ;
 - Les liaisons et connexions en chaufferie.

3.2.2.2. POUR LES COÛTS ÉNERGÉTIQUES DE FONCTIONNEMENT

■ La consommation électrique liée au pompage sera calculée en prenant un niveau statique moyen pour chaque nappe de l'ordre de 10 mètres sous la surface du sol. Les pompes électriques immergées ont été choisies en prenant des débits de 7, 40 et 140 m³/h et une HMT (Hauteur Manométrique Totale) de 70 mètres. Le tableau suivant décrit les caractéristiques des pompes utilisées.

Pompe type Grundfoss	Débit (m³/h)	Puissance (kW)
Modèle 1	2	< 1
Modèle 2	7	2,5
Modèle 3	40	12
Modèle 4	140	40

TABLEAU 10
Caractéristiques
des pompes
immergées

- La consommation d'énergie électrique sur le doublet est liée au pompage dans les puits de production. La consommation du variateur de vitesse est prise en compte et l'injection se fait par gravité sans pompe d'injection. La consommation électrique de la PAC est additionnée.

3.2.2.3. POUR L'ENTRETIEN ET LA MAINTENANCE

- Les coûts de maintenance prennent en compte la maintenance annuelle de la pompe à chaleur et son remplacement tous les 20 ans.
- Les coûts des forages et d'équipement ont été détaillés pour chaque débit et chaque profondeur afin de pouvoir estimer plus précisément les coûts d'entretien de cette partie sous-sol. La maintenance de la partie sous-sol est scindée entre l'entretien et le remplacement du matériel qui survient tous les 10 ans (colonne d'injection, acidification, pompage d'essai ...) et ceux qui surviennent tous les 4 ans (entretien des pompes et colonne d'exhaure).
- Un coût forfaitaire annuel prenant en compte une visite de maintenance (vérifications, prélèvement d'eau, analyses ...) est fixée à 1 500 €/an.
- La maintenance représente entre 3 % et 5 % de l'investissement par an, selon les opérations.
- Le tableau suivant résume les coûts des cas étudiés. L'investissement est en euros et la maintenance et le fonctionnement sont en euros par an.

TABEAU 11
Coûts du système
géothermique sur
aquifère et de la
solution gaz

Géothermie			
	Investissement	Maintenance	Fonctionnement
Collectif	421 050	12 040	16 780
Tertiaire	690 550	29 500	60 700
Gaz naturel			
	Investissement	Maintenance	Fonctionnement
Collectif	–	12 150	33 890
Tertiaire	–	29 870	118 780

3.3 RÉSULTATS

3.3.1. PRODUCTION DE CHAUD

- Les graphiques suivants montrent les résultats de deux opérations : à moyen débit (40 m³/h) et à fort débit (140 m³/h). Ils décrivent les coûts cumulés de ces opérations en fonction du temps, et les comparent à ceux de la solution gaz.
- La figure suivante montre les coûts cumulés de l'installation géothermique sur nappe à 40 m³/h présentée sur une période de 30 ans.

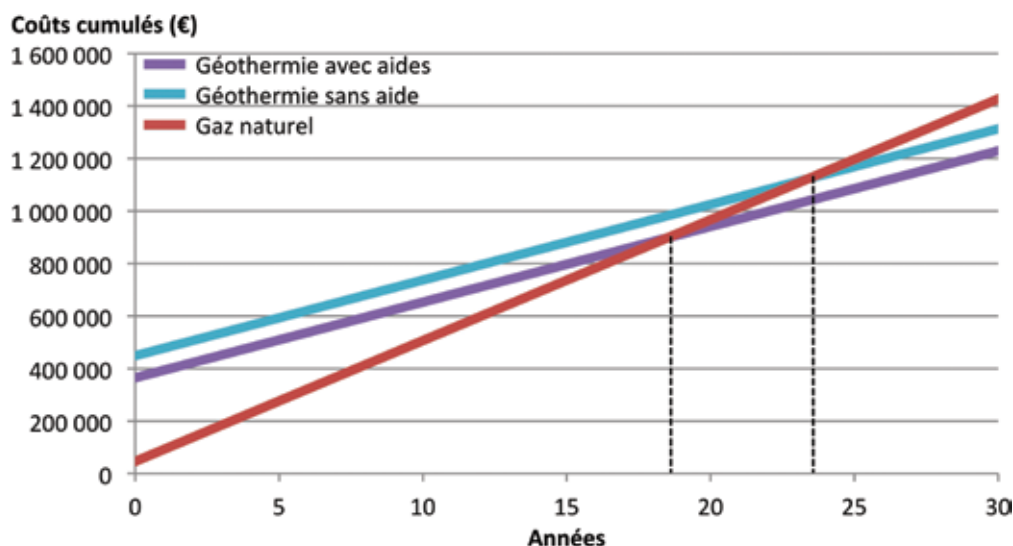


FIGURE 13
Coûts cumulés
du système sur
aquifère à
40 m³/h (300 kW)

- Par rapport à une solution gaz naturel, la solution géothermie sur nappe avec aides (Fonds Chaleur) montre un temps de retour long de 19 ans. Sur une période de 50 ans d'exploitation, le système géothermique permet une économie néanmoins substantielle d'environ 542 000 € supérieur au montant de l'investissement initial. L'économie par rapport à une solution gaz est de 10 800 € par an.
- Le scénario « inflation » montre qu'avec l'augmentation du coût des énergies conventionnelles les temps de retour sur investissement de l'option géothermique diminuent sensiblement. Avec des aides, la solution géothermique devient plus rentable que le gaz au bout de 14 ans.

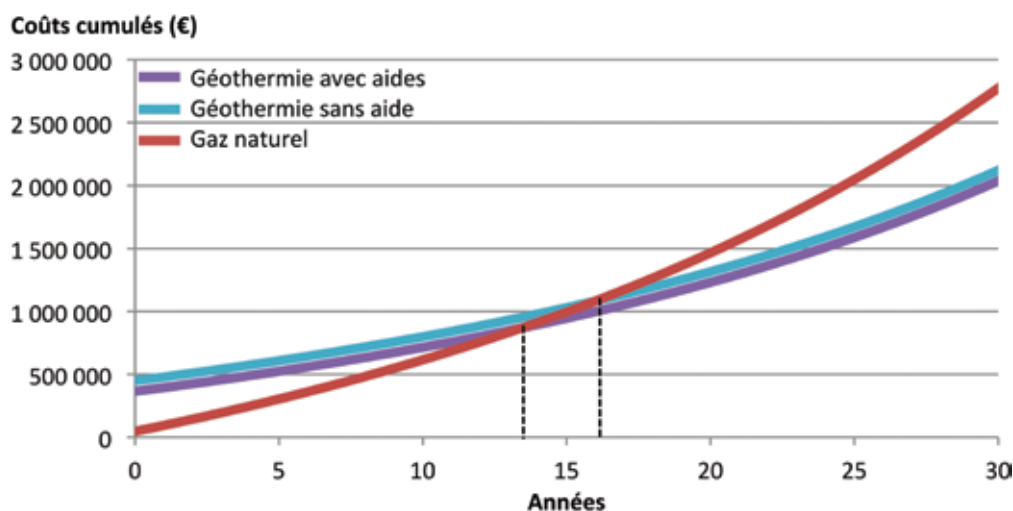
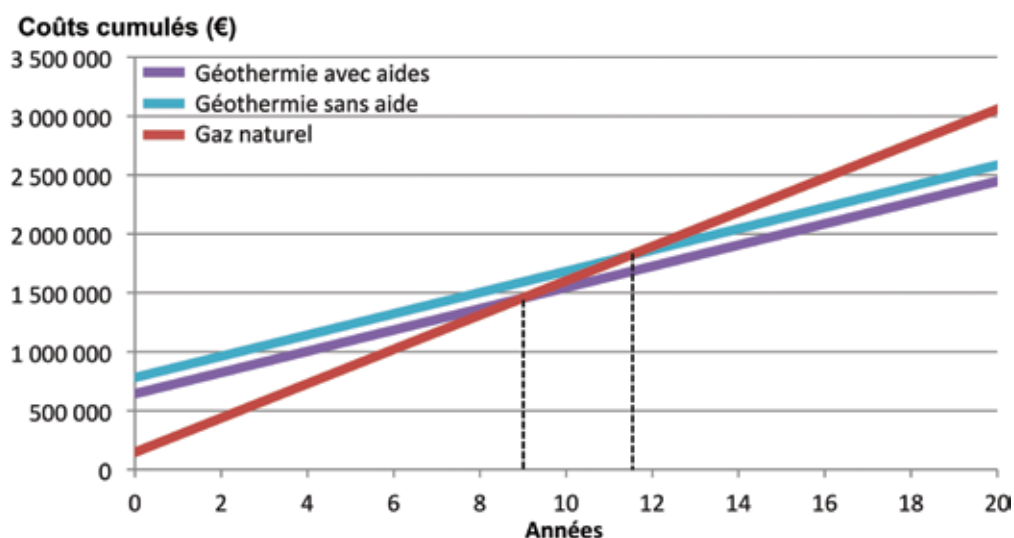


FIGURE 14
Coûts cumulés
du système sur
aquifère à
40 m³/h (300 kW),
scénario inflation

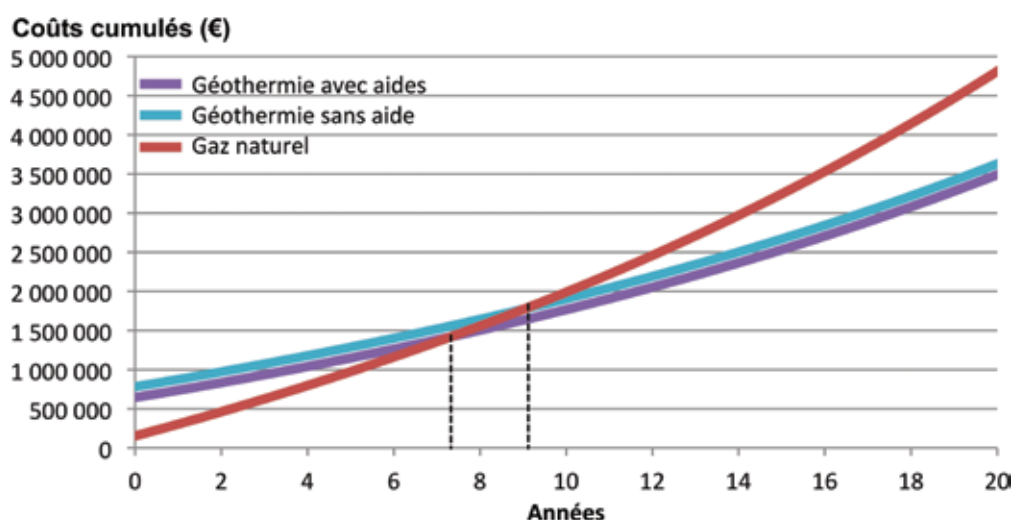
- Il est à noter que la géothermie sur aquifère à faible débit (faible puissance) peut être avantageuse par rapport à une solution gaz, si et seulement si une nappe superficielle est présente. En effet, le forage sera peu profond donc peu coûteux.
- Si l'on passe maintenant à une opération sur aquifère à fort débit, 140 m³/h, et de forte puissance, 1 000 kW, l'avantage économique de l'option géothermique sur le gaz est évident. La figure page suivante montre qu'avec des aides, la géothermie devient plus rentable que le gaz au bout de seulement 9 ans. Les économies réalisées atteignent plus 2,2 millions d'euros au bout de 50 ans, soit 45 000 € par an.

FIGURE 15
Coûts cumulés du système sur aquifère à 140 m³/h (1000 kW)



■ Le graphique suivant montre le scénario « inflation » de l'opération sur aquifère pour un débit de 140 m³/h. Il montre que l'inflation des coûts de l'énergie fait baisser de 2 ans les temps de retour sur investissement de la géothermie, c'est donc au bout de 7 ans que l'option géothermique devient plus rentable qu'une chaudière à gaz.

FIGURE 16
Coûts cumulés du système sur aquifère à 140 m³/h (1000 kW), scénario inflation



■ En conclusion, plus le débit d'exploitation du doublet est important, plus la puissance thermique récupérable est forte et plus l'opération géothermique est rentable. Les opérations de petites puissances montrent des temps de retour plus élevés.

■ Les économies d'échelle sont très importantes pour les forages sur nappe d'eau souterraine. Ces opérations sont donc préconisées pour des installations collectives, tertiaires, réseaux de chaleur de petite taille sur boucle tempérée.

3.3.2. PRODUCTION DE FROID

■ Dans les scénarios avec rafraîchissement du bâtiment, on considère que la géothermie ne consomme rien en géocooling. La solution de comparaison est constituée d'une chaudière à gaz pour la production de chaleur et d'un aéro-générateur pour la production de froid, elle est représentée dans les graphiques suivants par

une courbe jaune nommée « scénario rafraîchissement ».

- Le graphique ci-dessous montre le temps de retour d'une opération géothermique pour un petit collectif en tenant compte de la production de chaleur et du refroidissement.

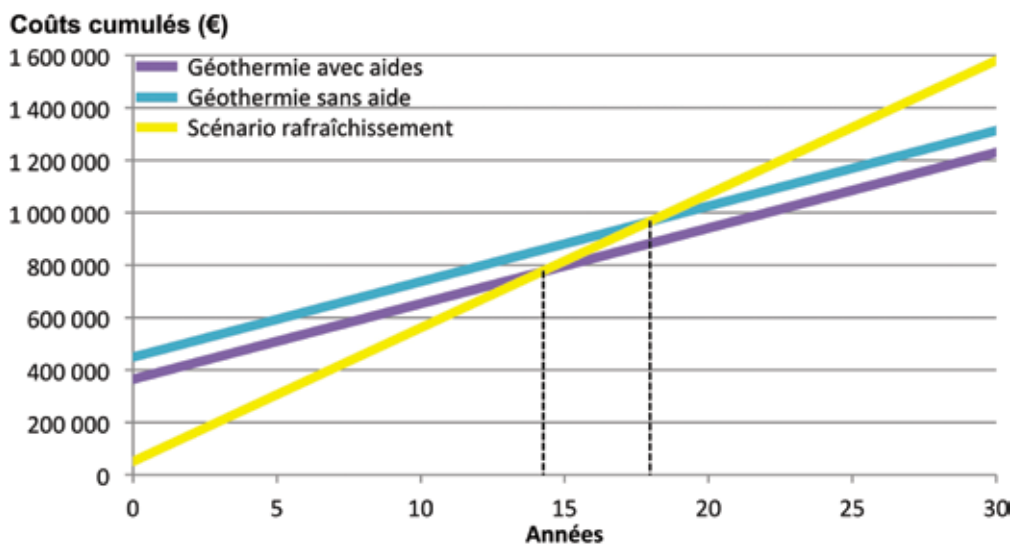


FIGURE 17
Coûts cumulés
du système sur
aquifère à
40 m³/h (300 kW),
scénario
rafraîchissement

- Par rapport au scénario rafraîchissement, le système géothermique avec aides du Fonds Chaleur devient économiquement avantageux au bout d'environ 15 ans.
- Sur le graphique suivant, le même système géothermique est étudié en prenant en compte l'inflation de l'énergie.

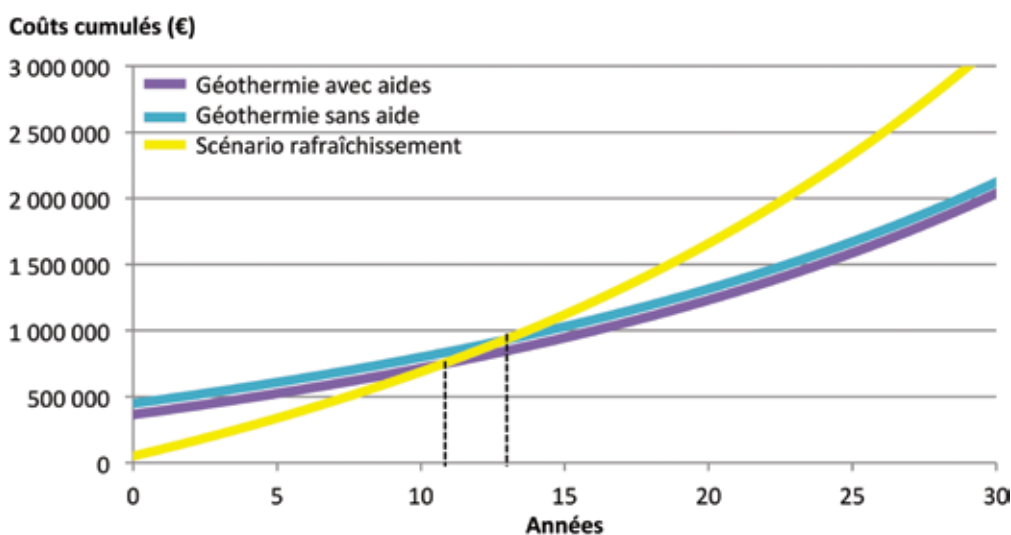
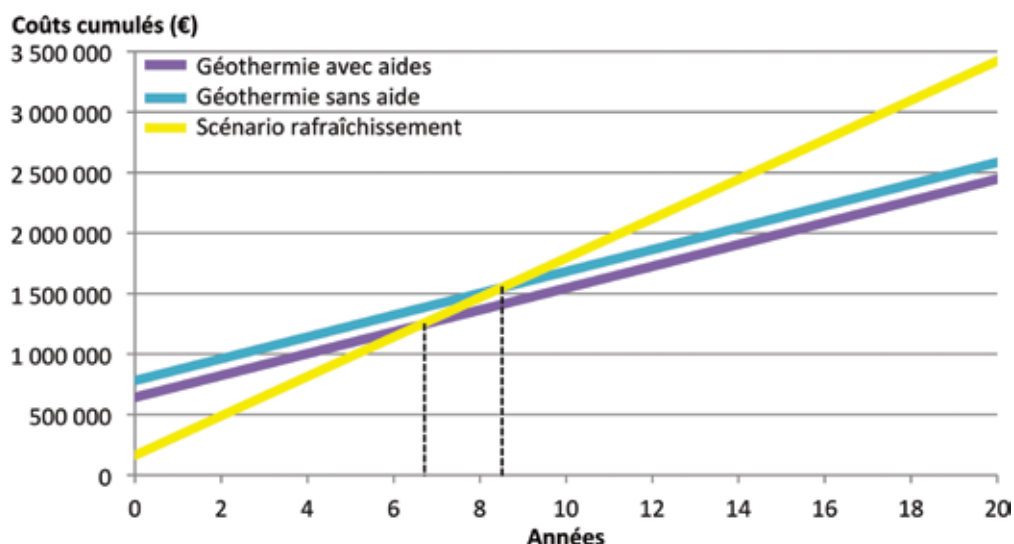


FIGURE 18
Coûts cumulés
du système sur
aquifère à
40 m³/h (300 kW),
scénario inflation
et rafraîchissement

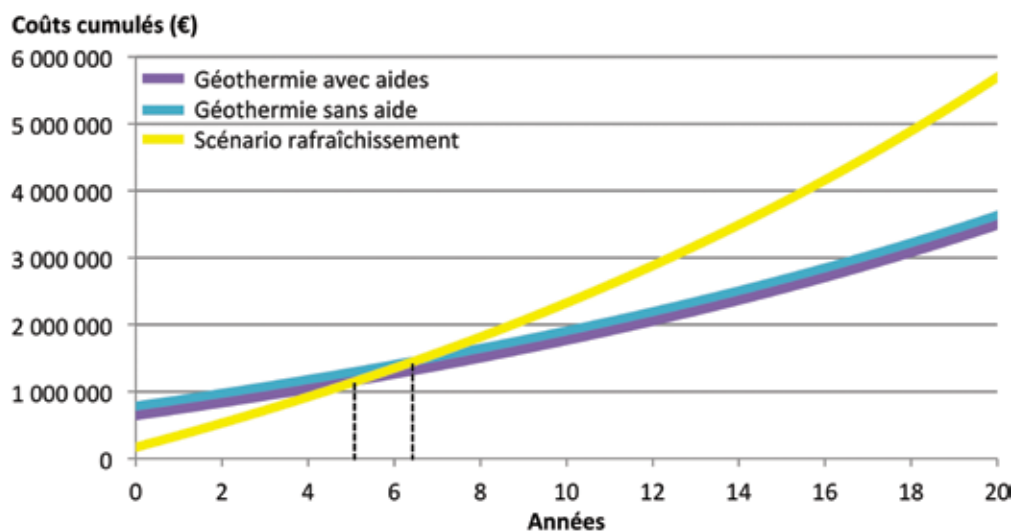
- Le temps de retour sur investissement diminue de 4 ans par rapport au scénario sans inflation des coûts de l'énergie. L'option géothermique devient rentable au bout de 11 ans.
- Pour une installation plus puissante de 1 000 kW, avec un débit de pompage de 140 m³/h, le temps de retour sur investissement par rapport à un scénario rafraîchissement est encore écourté. Avec des aides, l'installation géothermique devient rentable au bout de seulement 7 ans.

FIGURE 19
Coûts cumulés
du système sur
aquifère à
140 m³/h
(1 000 kW),
scénario
rafraîchissement



- Le graphique suivant prend en compte l'inflation des coûts de l'énergie.

FIGURE 20
Coûts cumulés
du système sur
aquifère à
140 m³/h
(1 000 kW),
scénario inflation
et rafraîchissement



- Avec l'inflation des coûts de l'énergie, la solution géothermique bénéficiant d'aides financières devient avantageuse au bout de 5 ans.
- Le rafraîchissement est incontestablement très avantageux pour le grand collectif et le tertiaire. En plus d'apporter un confort certain en été et de recharger la nappe en calories, le rafraîchissement améliore le temps de retour sur investissement.

3.4 RÉPARTITION DES COÛTS SUR 50 ANS

- La répartition des coûts d'investissement, de maintenance et de fonctionnement est comparée, pendant 50 ans d'exploitation, en fonction du débit de pompage.
- L'étude montre que les coûts de fonctionnement augmentent avec le débit mais pas avec la profondeur : cela est lié au fonctionnement de la pompe immergée dont la consommation électrique est directement dépendante du débit de l'installation, mais pas de sa profondeur.

- Les trois graphiques suivants représentent la répartition des coûts pour un forage profond après 50 ans d'exploitation à des débits différents.
- Les figures ci-dessous confirment que plus le débit augmente, plus la consommation de la pompe immergée augmente ainsi que les coûts de fonctionnement.

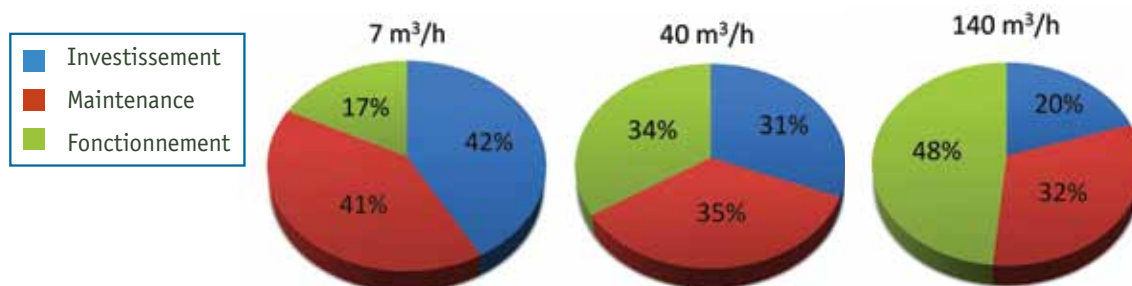


FIGURE 21
Répartition des
coûts d'une
opération sur
nappe en fonction
du débit

- Pour des faibles débits, la maintenance et l'investissement sont quasiment égaux en proportions. Le fonctionnement est le poste le plus faible, ceci est dû à une faible consommation en électricité de la pompe immergée.
- Pour des débits plus élevés, 40 m³/h, la répartition est équitable entre les trois postes.
- Pour des débits importants, 140 m³/h, c'est le fonctionnement qui coûte le plus cher sur 50 ans. Ce poste dépend fortement de la puissance électrique nécessaire au fonctionnement de la pompe immergée. De plus, plus le débit augmente plus la puissance récupérable thermique augmente et donc la consommation électrique de la PAC également.

CONCLUSION SUR LA GÉOTHERMIE SUR AQUIFÈRE

3.5

- Pour le petit collectif, les temps de retour se situent de 19 à 24 ans. La taille de ce type d'installation limite la rentabilité économique. En revanche, avec production de froid, les temps de retour baissent d'environ 4 ans.
- Pour le tertiaire et le grand collectif, les temps de retour sont bien meilleurs entre 9 et 12 ans. Avec production de froid, l'installation est extrêmement rentable, avec des temps de retour entre 7 et 9 ans.

4

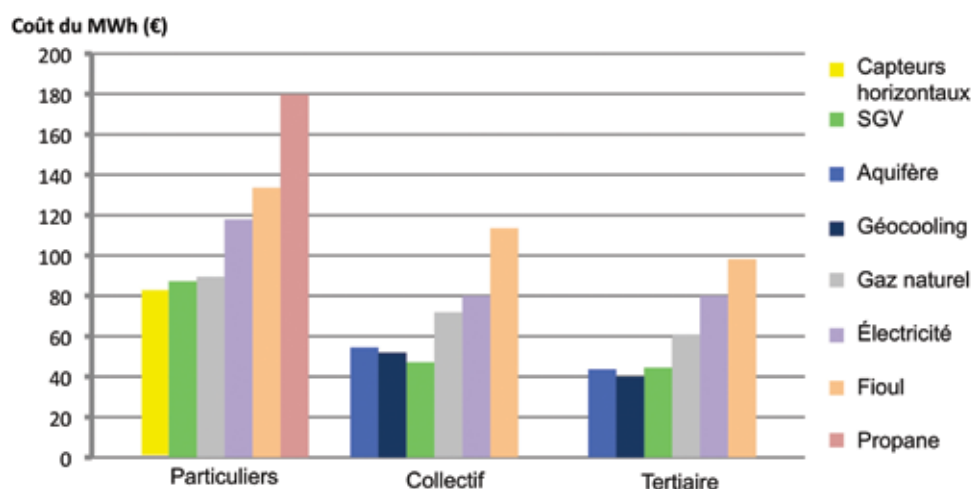
COMPARAISONS ENTRE SYSTÈMES

LES ÉNERGIES TRADITIONNELLEMENT UTILISÉES EN FRANCE POUR LE CHAUFFAGE ET LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE SONT LE GAZ DE VILLE, L'ÉLECTRICITÉ ET LE FIOUL.

AFIN DE POUVOIR COMPARER L'INTÉRÊT DE LA GÉOTHERMIE PAR RAPPORT À CES ÉNERGIES D'UN POINT DE VUE STRICTEMENT FINANCIER, LE COÛT DU MWh EST CALCULÉ POUR CHAQUE TECHNOLOGIE POUR UNE DURÉE DE VIE DE L'INSTALLATION DE 50 ANS.

- Les coûts du MWh présentés ci-dessous intègrent les coûts de fonctionnement, de maintenance (visite annuelle, renouvellement du matériel ...) et d'investissement de chaque technologie selon les hypothèses décrites précédemment. Les coûts sont calculés sur une période de 50 ans, c'est-à-dire que l'investissement est réparti sur 50 ans.

FIGURE 22
Coûts des énergies géothermiques et conventionnelles en €/MWh pour les trois secteurs



- Pour les particuliers, avec un coût autour de 85 €/MWh les géothermies sur capteurs horizontaux et sur SGV sont les plus intéressantes financièrement. Les énergies conventionnelles sont plus coûteuses.
- Pour le collectif, les géothermies sur SGV et sur aquifère sont intéressantes. La géothermie sur SGV coûte 47 €/MWh et celle sur aquifère coûte 54 €/MWh.
- Pour le secteur tertiaire, les géothermies sur aquifère et sur SGV sont les plus rentables, avec un coût du MWh autour de 44 €.
- Avec les aides (CIDD et Fonds Chaleur) le coût de l'énergie géothermique diminue. Le graphique suivant illustre ces coûts.

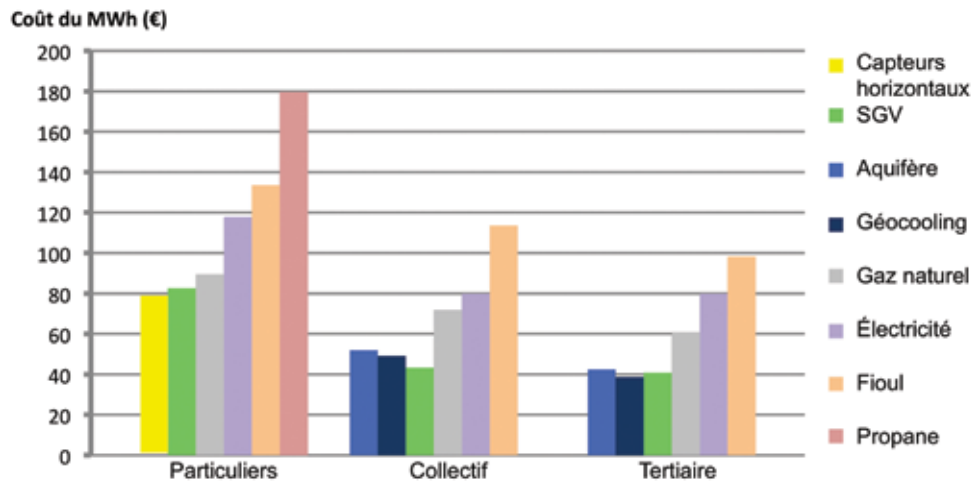


FIGURE 23
Coûts des énergies géothermiques (avec aides) et conventionnelles en €/MWh pour les trois secteurs

- Les aides abaissent de manière sensible le temps de retour sur investissement d'un projet géothermique. En revanche il n'influence que peu le coût du MWh sur 50 ans. Les aides (Fonds Chaleur ou CIDD) sont donc des outils d'aide à la décision et permettent le démarrage des projets. Le coût de l'énergie produite par les systèmes géothermiques est largement inférieur à celui des énergies conventionnelles. L'énergie géothermique est compétitive.



CONCLUSIONS

QUEL QUE SOIT LE TYPE DE BÂTIMENT CONCERNÉ, LA GÉOTHERMIE TRÈS BASSE ÉNERGIE ASSISTÉE PAR POMPE À CHALEUR PEUT ÊTRE UNE SOLUTION ÉNERGÉTIQUE ÉCONOMIQUEMENT AVANTAGEUSE ET QUI PEUT ÊTRE MISE EN ŒUVRE SUR PLUS DE 85 % DU TERRITOIRE FRANÇAIS. NOYAU DUR DE LA GÉOTHERMIE FRANÇAISE, ELLE COMPTE DÉJÀ PLUS DE 90 000 INSTALLATIONS EN FONCTIONNEMENT ET PRÉSENTE UNE TRÈS GRANDE MARGE DE PROGRESSION.

- En plus de fournir de la chaleur de manière constante et locale, l'atout majeur de cette filière est de produire gratuitement un possible rafraîchissement des bâtiments. Le géocooling amène un véritable confort en été, recharge le sol en calories et améliore le temps de retour sur investissement. Cette particularité unique dans le secteur énergétique s'avère déjà cruciale pour les secteurs tertiaire et collectif et se développe avec les promesses d'un fort potentiel dans l'industrie et l'agriculture.
- Les technologies de pompe à chaleur utilisées couramment, sur capteurs horizontaux, sur sondes verticales et sur aquifère, répondent aux besoins des différents marchés, particulier, collectif et tertiaire.
- L'étude économique comparée a permis de faire ressortir pour chaque secteur de marché, les techniques les plus performantes.
 - Ainsi, les systèmes sur capteurs horizontaux sont particulièrement bien adaptés pour les particuliers ayant une grande surface de terrain à disposition. Le temps de retour sur investissement se situe vers 8 ans par rapport à une chaudière au gaz naturel.
 - Les systèmes sur sondes verticales peuvent être mis en œuvre quel que soit le type de bâtiment. Pour les particuliers, en tenant compte du CIDD, l'installation sur SGV est rentable au bout de 13 ans par rapport au gaz. Pour le collectif, elle est rentable au bout de 9 ans et pour le tertiaire au bout de 13 ans. Si le système produit du froid grâce au géocooling ou à l'usage d'une pompe à chaleur réversible, les installations présentent une rentabilité bien meilleure, ce qui renforce leur compétitivité par rapport au gaz naturel.
 - Les systèmes sur aquifère sont particulièrement rentables pour les installations de fortes puissances, répondant à des besoins du secteur tertiaire ou collectif. Par rapport à une chaudière à gaz, la rentabilité est atteinte au bout de 9 ans. Si on y ajoute une option rafraîchissement, la rentabilité est obtenue en 7 ans.
- On retiendra dans tous les cas, que le rafraîchissement est une option très avantageuse économiquement. Dans le tableau suivant, le temps de retour sur investissement (TRI) est donné par rapport à une solution gaz naturel.

TABEAU 12
Récapitulatif des
investissements
et TRI pour chaque
technologie et
secteur

		Investissement				TRI	
Secteur	Technologie	sans aide	avec aide	/kW installé sans aide	/kW installé avec aide	sans aide	avec aide
Unités		€	€	€/kW	€/kW	ans	ans
Particuliers	Capteurs horizontaux	11 000	8 250	1 375	1 030	13	8
	SGV	14 700	11 025	1 838	1 378	19	13
Collectif	SGV	170 000	122 600	1 417	1 022	13	9
	Doublet	420 050	336 040	1 400	1 120	24	19
Tertiaire	SGV	1 540 000	1 096 000	1 283	914	19	13
	Doublet	690 550	552 440	690	552	12	9
	Doublet – géocooling	673 220	532 110	622	494	9	7

■ Pour les particuliers, les deux solutions géothermiques étudiées montrent des temps de retour intéressants, notamment avec l'obtention du CIDD. Au delà d'une bonne rentabilité économique, la mise en place d'un échangeur souterrain dont la durée de vie est très longue représente une valeur patrimoniale pour le propriétaire de la maison individuelle.

■ Pour le petit collectif, le doublet sur aquifère est difficile à amortir même en tenant compte des subventions. En effet, les coûts fixes pour la réalisation du doublet de forage sont élevés même pour la mise en œuvre d'un faible débit. Néanmoins, lorsque l'aquifère est très superficiel les coûts de forage diminuent fortement et certaines opérations peuvent se révéler attractives. En revanche pour les sondes, la rentabilité de ces opérations est satisfaisante, avec des temps de retour entre 9 et 13 ans. Ces champs de sondes de petite taille correspondent à la réalisation d'environ 18 sondes de 100 mètres de profondeur.

■ Pour le tertiaire et le grand collectif, les sondes géothermiques présentent des temps de retour longs. Ceci est dû à la réalisation de 180 sondes qui est proportionnel à la puissance installée (1 200 kW) : il n'y a pas d'effet d'échelle. En ce qui concerne les doublets sur aquifères, les temps de retour sont très bas, inférieurs à 12 ans, et pouvant atteindre 7 ans avec du géocooling.

■ L'énergie géothermique est économiquement compétitive pour les particuliers quelle que soit la technologie utilisée. Pour le petit collectif, il faudra privilégier en général la réalisation de champ de sondes. Pour le tertiaire et le grand collectif, la géothermie offre la possibilité de produire du chaud et du froid alternativement ou simultanément. Elle permet à l'installation de fonctionner un nombre d'heures plus important dans l'année et donc de produire plus d'énergie. En conséquence, la rentabilité est obtenue beaucoup plus rapidement.

■ Les coûts de la géothermie calculés sur une période de 50 ans sont largement inférieurs à ceux des énergies conventionnelles pour les trois secteurs. Le réseau de gaz naturel en France est dense mais certaines zones restent non connectées. Pour ces secteurs géographiques, la géothermie pour les maisons individuelles assure un coût final de l'énergie 2,3 fois plus faible que le propane. Par rapport au fioul, le coût du MWh géothermal est 1,6 fois moins élevé.

■ Le gaz naturel est la première source d'énergie utilisée pour le chauffage en France. La géothermie sur le long terme offre au consommateur un coût final du MWh inférieur de 20 % à 30 % selon les technologies et cela sans tenir compte de l'augmentation prévisible des coûts des énergies fossiles.

GLOSSAIRE

■ AQUIFÈRES (NAPPE D'EAU SOUTERRAINE)

Formation géologique poreuse et perméable capable de produire de l'eau naturellement ou par pompage.

■ BOUCLE GÉOTHERMALE

Circuit de l'eau souterraine (eau géothermale) puisée dans l'aquifère et qui y retourne après avoir échangé de l'énergie thermique à la boucle géothermique située en surface.

■ BOUCLE GÉOTHERMIQUE

Circuit localisé en surface, généralement de l'eau de la ville, et utilisé pour exploiter l'énergie géothermique. Un échangeur de chaleur sépare l'eau de la boucle géothermale et l'eau de la boucle géothermique.

■ CAPTEURS ENTERRÉS

Il s'agit d'échangeurs de chaleur enfouis directement dans le sous-sol. Ils sont généralement constitués de tubes en polyéthylène haute densité dans lesquels circule en boucle fermée un fluide caloporteur (eau) prélevant l'énergie du sol ou du sous-sol.

- Les capteurs peuvent être enterrés horizontalement dans le sol à faible profondeur (de 0,60 m à 1,20 m). On parle dans ce cas d'échangeurs ou «capteurs horizontaux».
- Les capteurs de 2 à 3 m de hauteur peuvent être enfouis à faible profondeur dans le sol. On parle dans ce cas d'échangeurs compacts.

Les capteurs peuvent être enterrés verticalement dans le sol. Dans ce cas ils sont placés dans un (des) forage(s) de plusieurs dizaines de mètres de profondeur et scellés par du ciment spécial. On parle dans ce cas de «sonde géothermique verticale».

■ COEFFICIENT DE PERFORMANCE – COP

Le COP traduit la performance énergétique d'une pompe à chaleur. Il s'exprime par le rapport entre la quantité de chaleur délivrée et l'énergie (électrique) consommée par le compresseur. Par exemple pour une pompe à chaleur dont le COP est égal à 4, une quantité d'énergie électrique consommée de 1 kWh correspondra à une fourniture d'énergie thermique de 4 kWh. Il s'agit là du COP-machine, lequel correspond à un point de fonctionnement donné. On définit également le COP-saisonnier qui tient compte de tous les points de fonctionnement sur une année entière.

■ DOUBLET (GÉOTHERMIQUE)

Ensemble de deux forages associés, l'un étant dédié à la production du fluide géothermal, l'autre à la réinjection de ce fluide dans l'aquifère d'origine. Cette configuration présente plusieurs avantages :

- absence de rejets dans l'environnement (circuit en boucle fermée),
- pérennité du débit hydraulique,
- stabilité des pressions d'exploitation

■ EQUIVALENTS LOGEMENTS

S'il n'existe pas de définition « officielle » dotée d'une valeur juridique ou normative concernant les Equivalents Logements (EqL), différentes définitions circulent et correspondent toutes au même ordre de grandeur : 1 équivalent logement équivaut à environ la consommation de 12 MWh par an (soit 8 kWth installés).

■ FORAGE

Désigne l'opération consistant à réaliser un ouvrage de type «puits géothermique» ou «sonde géothermique». En langage courant «forage géothermique» désigne un ouvrage déjà réalisé et équipé. Différentes techniques de forage existent :

- Le rotary est une méthode par rotation et broyage. Les déblais sont entraînés vers la surface par la circulation d'un fluide de forage.
- Le marteau fond de trou fonctionne à l'air comprimé par percussion d'un taillant.

Pour ces deux techniques le forage peut être étayé pour éviter les éboulements avec un tubage provisoire à l'avancement.

■ GÉOCOOLING (RAFRAICHISSEMENT DIRECT OU FREECOOLING)

Il s'agit d'utiliser directement la capacité de refroidissement de la ressource du fluide sans utiliser une pompe à chaleur.

■ GÉOTHERMIE TRÈS BASSE ÉNERGIE (TBE)

S'applique usuellement lorsque la température initiale du niveau géologique ou hydrogéologique où s'effectue l'échange de chaleur ou le prélèvement d'énergie thermique est inférieure à 30°C. Aussi, parle-t-on parfois de géothermie «très basse température». En géothermie TBE, on peut exploiter l'eau des aquifères peu profonds ou bien échanger de la chaleur avec les roches du sous-sol au moyen de «sonde géothermique». Pour assurer les besoins de chaleur des bâtiments, l'énergie ainsi récupérée nécessite généralement l'usage d'une pompe à chaleur. Les pompes à chaleur réversibles permettent également de faire de la climatisation. Lorsque la température de la ressource TBE est suffisamment basse, ce qui est généralement le cas, alors le rafraîchissement direct des locaux est possible, c'est-à-dire sans recourir à une pompe à chaleur.

■ KW HEURE

Les kW heures (kWh) représentent le travail accompli d'un kW pendant une heure. Les kWh/an expriment ainsi la consommation d'énergie sur une année. Afin d'avoir une idée du nombre de kWh consommés en un an il faut tenir compte des heures de fonctionnement des PAC géothermiques et donc des besoins en chauffage.

■ KW THERMIQUES

Un Watt (W) est l'unité légale de puissance et correspond à la quantité consommée ou produite par unité de temps, soit un joule par seconde. 1 kW = 1 000 W. Les kW thermiques (kWth) correspondent à la puissance sous forme de chaleur installée au cours d'une année.

■ POMPE À CHALEUR

Dispositif thermodynamique permettant d'extraire de l'énergie d'une source géothermique, ici à très basse température (TBE), pour la transférer à un autre niveau de température correspondant à un usage précis. Ce transfert thermique se fait grâce à l'exploitation des changements de phase d'un fluide frigorigène (gaz, liquide). Ce changement de phase nécessite un apport d'énergie, le plus souvent via un compresseur mécanique entraîné par un moteur électrique. D'autres technologies existent, par exemple les pompes à chaleur à sorption.

- Une PAC produit de la chaleur lorsque de l'énergie thermique est prélevée dans le milieu naturel : eau souterraine ou de surface, le sous-sol, le sol, l'air ...
- Une PAC assure de la climatisation lorsque la chaleur est prélevée dans un milieu fermé (habitation) avant d'être rejetée dans le milieu naturel.
- Une PAC assurant du chauffage et de la climatisation est une PAC réversible.

■ TONNES ÉQUIVALENT PÉTROLE SUBSTITUÉES

La tonne équivalent pétrole (TEP) est une unité de mesure de l'énergie couramment utilisée pour comparer les énergies entre elles. C'est l'énergie produite par la combustion d'une tonne de pétrole, soit 11 600 kWh.

LIENS UTILES

Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie	www.ademe.fr
Association Française des Professionnels de la Géothermie	www.afpg.asso.fr
Association Française pour les Pompes à Chaleur	www.afpac.org
Association Technique Energie Environnement	www.atee.fr
Bureau de Recherche Géologiques et Minières	www.brgm.fr
Certificats d'économies d'énergie	www.industrie.gouv.fr/energie/certificats.htm
Comité de Liaison des Energies Renouvelables	www.cler.org
Espace institutionnel sur la géothermie réalisé par l'ADEME et le BRGM	www.geothermie-perspectives.fr
EurObserv'ER	www.eurobserv-er.org
European Geothermal Energy Council	www.egec.net
FEDENE	www.fedene.fr
Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie	www.developpement-durable.gouv.fr
Qualit'EnR	www.qualit-enr.org
Repowermap	www.repowermap.org
Syndicat des Energies Renouvelables	www.enr.fr
Syndicat des Foreurs d'Eau et de Géothermie	www.sfeg-forages.fr

ABRÉVIATIONS

- AFPG : Association Française des Professionnels de la Géothermie
- ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
- ANAH : Agence Nationale de l'Habitat
- ANIL : Agence Nationale pour l'Information sur le Logement
- CIDD : Crédit d'Impôt pour le Développement Durable
- COP : Coefficient de Performance
- ECS : Eau Chaude Sanitaire
- EnR : Energies Renouvelables
- FEDER : Fonds Européen de Développement Régional
- HMT : Hauteur Manométrique Totale
- kW : kilo Watt
- kWh : kilo Watt heure
- PAC : Pompe à chaleur
- SGV : Sondes Géothermiques Verticales
- TEP : Tonne Equivalent Pétrole
- TRI : Temps de Retour sur Investissement

TABLE DES FIGURES

Fig 1 : Évolution du coût d'investissement global en fonction de la superficie à chauffer	13
Fig 2 : Coûts cumulés du système géothermique horizontal	14
Fig 3 : Coûts cumulés du système géothermique horizontal avec inflation	15
Fig 4 : Répartition par marché des puissances installées sur sonde géothermique verticale	16
Fig 5 : Coûts d'investissement en fonction de la puissance de l'installation (SGV)	18
Fig 6 : Coûts cumulés du système sur SGV pour les particuliers	19
Fig 7 : Coûts cumulés du système sur SGV avec inflation pour les particuliers	19
Fig 8 : Coûts cumulés du système sur SGV pour le collectif	20
Fig 9 : Coûts cumulés du système sur SGV avec inflation pour le collectif	20
Fig 10 : Coûts cumulés du système sur SGV pour le tertiaire	21
Fig 11 : Coûts cumulés du système sur SGV avec inflation pour le tertiaire	21
Fig 12 : Répartition par marché des puissances installées sur aquifère	23
Fig 13 : Coûts cumulés du système sur aquifère à 40 m³/h (300 kW)	27
Fig 14 : Coûts cumulés du système sur aquifère à 40 m³/h (300 kW), scénario inflation	27
Fig 15 : Coûts cumulés du système sur aquifère à 140 m³/h (1000 kW)	28
Fig 16 : Coûts cumulés du système sur aquifère à 140 m³/h (1000 kW), scénario inflation	28
Fig 17 : Coûts cumulés du système sur aquifère à 40 m³/h (300 kW), scénario rafraîchissement	29
Fig 18 : Coûts cumulés du système sur aquifère à 40 m³/h (300 kW), scénario inflation et rafraîchissement	29
Fig 19 : Coûts cumulés du système sur aquifère à 140 m³/h (1 000 kW), scénario rafraîchissement	30
Fig 20 : Coûts cumulés du système sur aquifère à 140 m³/h (1 000 kW), scénario inflation et rafraîchissement	30
Fig 21 : Répartition des coûts d'une opération sur nappe en fonction du débit	31
Fig 22 : Coûts des énergies géothermiques et conventionnelles en €/MWh pour les trois secteurs	32
Fig 23 : Coûts des énergies géothermiques (avec aides) et conventionnelles en €/MWh pour les trois secteurs	33

TABLE DES TABLEAUX

Tab 1 : Puissance et production annuelle de chaleur pour les trois secteurs	7
Tab 2 : Coûts de l'énergie	8
Tab 3 : Coûts d'investissement et de maintenance des PAC	8
Tab 4 : Aides du Fonds Chaleur de l'ADEME 2014	9
Tab 5 : Coûts du système géothermique sur capteurs horizontaux et des solutions avec gaz	13
Tab 6 : Conductivités thermiques et capacités spécifiques de plusieurs types de roche	17
Tab 7 : Paramètres des systèmes géothermiques sur sondes verticales étudiés	17
Tab 8 : Coûts du système géothermique sur sondes verticales et des solutions gaz	18
Tab 9 : Paramètres des systèmes géothermiques sur aquifère étudiés	24
Tab 10 : Caractéristiques des pompes immergées	25
Tab 11 : Coûts du système géothermique sur aquifère et de la solution gaz	26
Tab 12 : Récapitulatif des investissements et TRI pour chaque technologie et secteur	35

TABLE DES SCHÉMAS

Schéma 1 : Les trois techniques de captage	4
Schéma 2 : Fonctionnement du système en mode géocooling	11
Schéma 3 : Fonctionnement du système en mode climatisation	11

POUR EN SAVOIR PLUS

Dans le but de promouvoir et de faire connaître la géothermie, l'AFPG recense des opérations géothermiques sous la forme de fiches référence. Ces exemples donnent un aperçu complet de la ressource géothermique en France et de la diversité des installations réalisables. Elles peuvent être source d'inspiration pour les maîtres d'ouvrages potentiels. Il est possible de consulter ces fiches sur le site de l'AFPG.

L'AFPG EN BREF

■ L'AFPG a été créée le 15 juin 2010 à Paris et compte en 2014, près de 90 adhérents représentatifs des différents métiers de l'énergie géothermique en France métropolitaine et dans les DROM : foreurs, fabricants et installateurs de pompes à chaleur, fabricants de matériel, exploitants de réseaux de chaleur, bureaux d'études, etc. Elle est organisée en trois filières que sont la Haute énergie, les Usages directs de la chaleur et la Géothermie assistée par pompes à chaleur.

■ **L'AFPG s'est fixée comme objectif de promouvoir et d'accélérer le recours à la géothermie, énergie renouvelable, locale, disponible 24h/24 et capable de produire de l'électricité, de la chaleur et du froid.**

■ Pour ce faire, ses missions se déclinent en trois axes majeurs :

- Représenter et fédérer les professionnels de la filière en France et dans les DROM.
- Informer les collectivités, les industriels et les particuliers des ressources et de la diversité de l'offre géothermique.
- Accompagner les pouvoirs publics en matière de réglementation, de législation et de certification.



AFPG

77 rue Claude Bernard

75005 PARIS - FRANCE

Tél : 09 81 64 74 12

contact@afpg.asso.fr

www.afpg.asso.fr