

Les objectifs du Grenelle de l'environnement concernant la géothermie sur aquifères profonds sont de multiplier par 4 la production actuelle d'ici 2020. Pour atteindre cet objectif ambitieux, des projets de réseaux de chaleur alimentés par géothermie sont en cours et vont être amenés à se développer ces prochaines années.

Consacré à la géothermie et aux réseaux de chaleur, ce guide s'adresse ainsi aux maîtres d'ouvrage publics et privés ainsi qu'à leurs conseils, intéressés par la mise en œuvre de la géothermie pour l'alimentation d'un réseau de chaleur. Il concerne aussi bien les collectivités désireuses de développer un nouveau réseau de chaleur que celles qui souhaitent alimenter un réseau existant par la géothermie.

Après avoir rappelé les principes généraux de la géothermie et des réseaux de chaleur, le guide aborde les principales caractéristiques d'une alimentation géothermale et développe plus particulièrement la prise en compte du sous-sol (spécificités de la ressource géothermale et conditions d'accès à celle-ci) et l'adéquation des ressources du sous-sol et des besoins thermiques en surface.

Le montage et les différentes phases d'un projet sont présentés, en soulignant le rôle de l'ensemble des acteurs, de la collectivité, à l'entreprise de forage, en passant par les bureaux d'études. Enfin, des éléments technico-économiques sont mis en parallèle.

ADEME

Siège social
20, avenue de Grésillé
BP 90406
49004 Angers Cedex 1
Tél. 02 41 20 41 20
www.ademe.fr

BRGM

Département Géothermie
3, avenue Claude Guillemin
BP 36009
45060 Orléans cedex 2
Tél. 02 38 64 34 34
www.brgm.fr

Réf. ADEME : 6659
Réf. BRGM : STCo05



9 782715 924901

Prix : 45 €

www.geothermie-perspectives.fr



GUIDE TECHNIQUE LA GÉOTHERMIE ET LES RÉSEAUX DE CHALEUR GUIDE DU MAÎTRE D'OUVRAGE



Guide technique

La géothermie et les réseaux de chaleur

Guide du Maître d'Ouvrage

COLLECTION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Guide coédité par l'ADEME et le BRGM

Comité de rédaction :

Norbert Bommensatt (ADEME Ile-de-France), Cyril Brun (Conseil régional d'Ile-de-France), Astrid Cardona Maestro (ADEME), Alain Desplan (BRGM), Philippe Laplaige (ADEME), Isabelle Migliore (ADEME), Adeline Poux (BRGM). Le comité de rédaction remercie l'AGéMO, l'Amorce, la DRIEE-IF et la SAF Environnement.

Maquette et réalisation : BL Communication

Impression : Gibert Clarey Imprimeurs

ISBN 9 782715 924901, décembre 2010 - Réf. ADEME : 6659 - Réf. BRGM : STCo05



Imprimé avec des encres végétales sur du papier provenant d'une forêt durablement gérée par un imprimeur certifié PEFC et qui, conformément à la marque Imprim'Vert®, n'utilise pas de produits toxiques, sécurise le stockage des produits et déchets dangereux et organise leur collecte.

Photo couverture : Chaufferie de la résidence J. Ferry à L'Hay-les-Roses © Semhach

Guide du Maître d’Ouvrage

La géothermie et les réseaux de chaleur

Guide technique

Avant-propos

La géothermie, qui consiste à prélever l'énergie contenue dans le sol pour produire de l'électricité ou de la chaleur, présente des avantages spécifiques appréciables : économie des énergies fossiles, ressource stable, protection de l'environnement, performance énergétique et économique, production d'énergie locale.

La géothermie a atteint un stade de maturité qui permet aujourd'hui sa mise en œuvre dans des conditions techniques et économiques pertinentes.

La loi portant engagement national pour l'environnement, dite « Grenelle 2 », promulguée le 12 juillet 2010 confirme les engagements du Grenelle de l'environnement en favorisant notamment le développement des énergies renouvelables. Les objectifs sont ambitieux : il s'agit en particulier de multiplier par six la production d'énergie géothermique et par douze les réseaux de chaleur.

Ce guide *La géothermie et les réseaux de chaleur, guide du maître d'ouvrage*, réalisé conjointement par l'ADEME et le BRGM, avec l'aimable participation de la région Ile-de-France, concerne plus particulièrement les opérations de géothermie associées à un réseau de chaleur. Il s'adresse aux maîtres d'ouvrage publics ou privés et à leurs conseils, intéressés par la mise en œuvre de solutions de chauffage urbain utilisant la géothermie.

La mise en place et la gestion d'un réseau de chaleur sont des éléments structurants pour la collectivité. Ce guide s'adresse aussi bien aux collectivités désireuses de développer un nouveau réseau de chaleur qu'à celles qui souhaitent alimenter un réseau existant par la géothermie.

La démarche conduisant à la réalisation d'une opération de géothermie nécessite l'intervention de multiples acteurs aux spécificités bien définies. Des compétences de spécialistes sont indispensables aux différents stades de l'élaboration d'un projet dans les domaines suivants :

- sous-sol (hydrogéologie, ingénierie, forages) ;
- surface (spécialistes de réseaux de chaleur) ;
- montages financiers et juridiques.

Le présent guide vise donc à aider les maîtres d'ouvrage à cerner les caractéristiques et les étapes principales d'un projet de mise en place d'un réseau de chaleur géothermique.

Le premier chapitre rappelle les grands principes de la géothermie, les éléments de contexte et les principales caractéristiques techniques et organisationnelles des réseaux de chaleur. Il est fait largement référence à l'expérience acquise au cours de ces 30 dernières années notamment à partir du bilan des opérations réalisées dans les années 80.

Les autres solutions de géothermie pour la production de chaleur sont rapidement évoquées : elles peuvent être adaptées pour des projets de taille plus modeste (voir en particulier le *Guide technique pompe à chaleur géothermique sur aquifère*, coédition ADEME-ARENE-BRGM, mars 2008).

Les chapitres suivants précisent :

- les éléments techniques à maîtriser pour la compréhension du fonctionnement d'une opération de géothermie profonde, qu'il s'agisse des éléments de thermique de surface, des caractéristiques de la ressource et de l'adéquation entre ces deux points ;
- les éléments pour guider le maître d'ouvrage au travers des différentes étapes nécessaires à la réalisation d'un projet de géothermie, depuis l'idée jusqu'à l'exploitation.

Enfin, le dernier chapitre permet de faire un point sur les éléments économiques et financiers qui sont une composante importante de tout projet de ce type.

Depuis de nombreuses années, le BRGM et l'ADEME mènent des actions en vue de développer le recours à la géothermie, source d'énergie qui présente d'indéniables atouts. Nous espérons que ce guide, fruit de la collaboration entre nos deux établissements, vous apportera des éléments d'appréciation et des points d'attention pertinents pour développer des solutions énergétiques alliant géothermie et réseaux de chaleur.

Philippe Van de Maele,

Président

de l'Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME)

Jean-François Rocchi

Président

du Bureau de Recherches
Géologiques et Minières (BRGM)

Sommaire

La géothermie et les réseaux de chaleur : présentation	6
La géothermie ou l'exploitation de la chaleur de la terre	6
Principe général	6
Les ressources géothermales en France métropolitaine.....	7
Les techniques de production de chaleur et de froid	8
L'exploitation des ressources de faible profondeur.....	8
L'exploitation des ressources des aquifères profonds	12
Historique.....	13
Le développement de la géothermie sur aquifères profonds en France ...	13
La production actuelle de géothermie sur aquifères profonds	14
Le contexte actuel et les perspectives de développement	16
Un point sur la politique française de « développement durable »	16
Les perspectives de développement de la géothermie	17
Les perspectives de développement des réseaux de chaleur	18
Les réseaux de chaleur	19
Les caractéristiques d'un réseau de chaleur.....	19
Le principe.....	19
Le fonctionnement	19
L'organisation d'un réseau de chaleur	24
La gestion du service public.....	24
Les acteurs d'un réseau de chaleur	27
L'adéquation des ressources du sous-sol et des besoins thermiques en surface. 29	29
Principes de base	29
La détermination des besoins	29
Le cas spécifique de la géothermie	30
Le fonctionnement en cascade	31
Le taux de valorisation et le taux de couverture.....	32
Le bilan énergétique et environnemental d'une opération type.....	33
La production de chaleur ou l'alimentation du réseau	34
Les principales caractéristiques du circuit géothermal	35
Les principales caractéristiques de la ressource géothermale	35
La mise en évidence de la ressource géothermale.....	35
Les méthodes d'exploitation de l'aquifère profond.....	36
Les conditions réglementaires d'accès à la ressource.....	38
Les principaux équipements d'une installation géothermique.....	40
L'utilisation de pompes à chaleur	43
L'utilisation d'appoints	44

Le montage d'un projet de réseau de chaleur avec géothermie sur aquifères profonds	45
Les acteurs d'une opération de géothermie profonde	45
La maîtrise d'ouvrage	45
L'assistance à maîtrise d'ouvrage	45
Ingénierie et maîtrise d'œuvre surface et sous-sol	45
Les entreprises	46
Le déroulement d'une opération	47
L'étude de pré faisabilité	47
L'étude de faisabilité	48
Les études de maîtrise d'œuvre	49
La phase des travaux de forage	50
L'exploitation et la maintenance	53
La gestion des équipements de production	53
La gestion des réseaux de distribution	53
Le suivi de l'exploitation	54
Synthèse des grandes étapes d'un projet type	55
Le bilan économique et financier d'une opération de géothermie sur aquifères profonds	56
Les coûts d'investissements et de fonctionnement	56
Les coûts d'investissements	56
Les coûts d'exploitation de la boucle géothermale	58
Le prix de revient de la chaleur	59
Le montage financier d'une opération	60
Le financement d'une opération	60
La couverture des risques géologiques et miniers	60
Le risque court terme	60
Le risque long terme	61
Les mécanismes d'accompagnement	61
Les dispositifs incitatifs de l'ADEME	62
Le Fonds Chaleur	62
Les quotas carbone	62
Les Certificats d'économie d'énergie	62
Annexe : Les organismes impliqués dans le développement des réseaux de chaleur et/ou de la géothermie	63

LA GÉOTHERMIE ET LES RÉSEAUX DE CHALEUR : PRÉSENTATION

LA GÉOTHERMIE OU L'EXPLOITATION DE LA CHALEUR DE LA TERRE

Principe général

Selon la directive 2009/28/CE du Parlement européen et du conseil du 23 avril 2009, relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, « l'énergie géothermique est une énergie emmagasinée sous forme de chaleur sous la surface de la terre solide ».

La géothermie peut donc se définir simplement comme l'exploitation des propriétés du sous-sol, à plus ou moins grande profondeur, à des fins de production de chaleur, de froid ou d'électricité.

La chaleur provient pour l'essentiel de la radioactivité naturelle des roches de la croûte terrestre et également, pour partie, des échanges thermiques avec les zones internes du globe dont les températures s'étagent de 1 000 à 4 300 °C. La présence de chaleur dans le sous-sol peut se traduire par des manifestations naturelles (volcans, fumerolles, geysers, sources chaudes, etc.) particulièrement dans les zones volcaniques, mais aussi et surtout, par une augmentation progressive de la température avec la profondeur. Cela se caractérise en un lieu donné par un gradient de température, variable selon les sites. En France, le gradient se situe entre 3 et 4 °C par 100 m de profondeur, mais il peut atteindre 10 °C par 100 m dans le nord de l'Alsace et des valeurs beaucoup plus élevées dans les zones volcaniques, en Guadeloupe par exemple.

Gradient géothermique

Si l'on considère que la température moyenne en surface est de 12 °C, la température à 1 600 m de profondeur sera respectivement de 64,8 °C (12 °C + 16 fois 3,3 °C) si le gradient géothermal moyen est de 3,3 °C /100 m et de 172 °C si le gradient est de 10 °C/100 m.

Le gradient géothermique

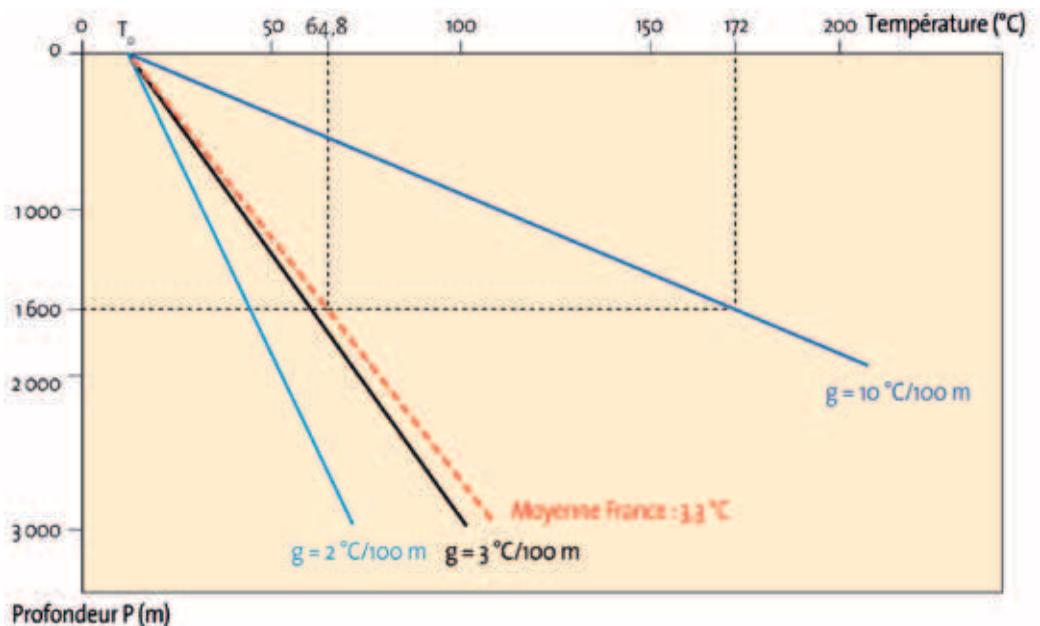
$$T = T_0 + (g \times P / 100)$$

T: température de la ressource

T₀: température annuelle moyenne locale

g: gradient géothermique

P: profondeur



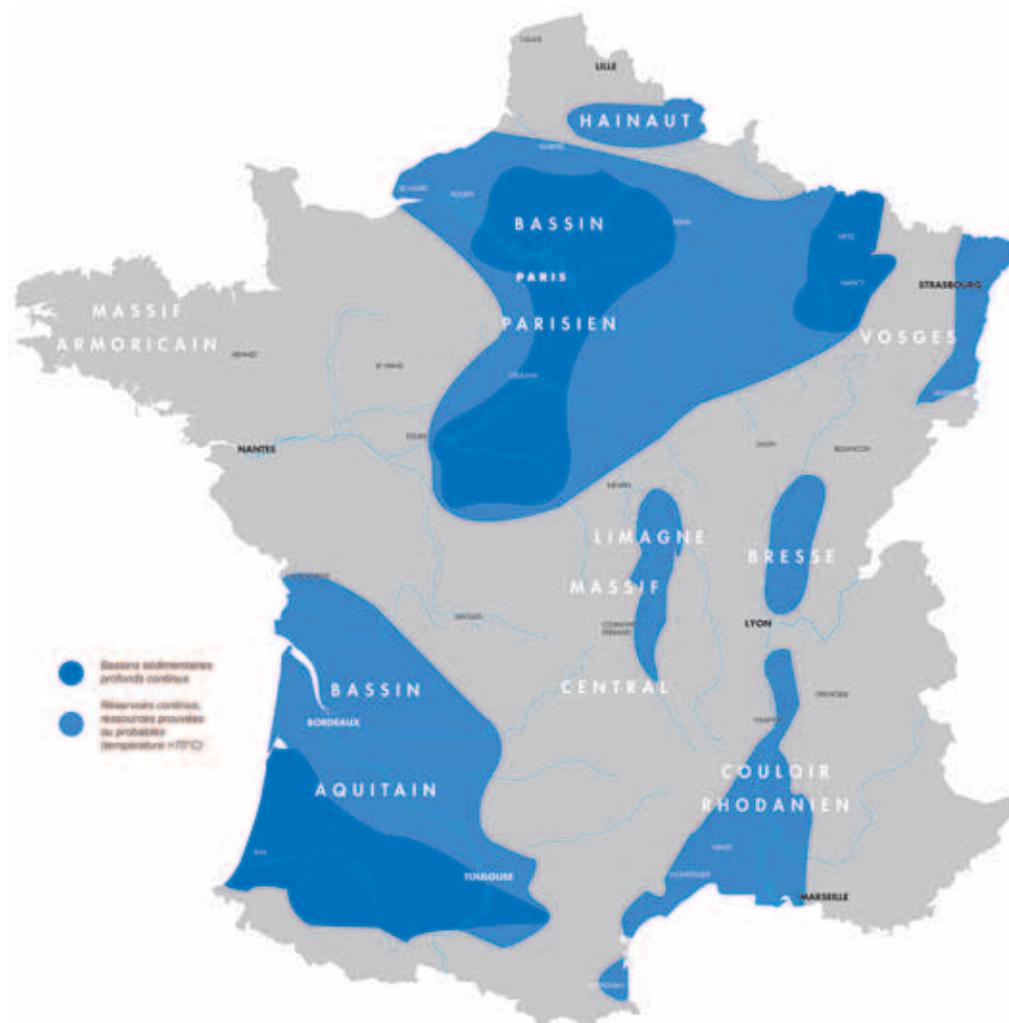
Les ressources géothermales en France métropolitaine

Le milieu souterrain où sera prélevée la chaleur peut être constitué de roches perméables ou imperméables, compactes, poreuses ou fissurées.

Lorsque les formations géologiques sont suffisamment poreuses et/ou fissurées et gorgées d'eau, elles sont dites « aquifères » ou désignées comme « réservoirs ». Le terme « nappes d'eau souterraine », fréquemment utilisé, désigne plus particulièrement l'eau contenue dans l'aquifère et ses propriétés physico-chimiques.

Les formations aquifères se rencontrent dans des couches géologiques sédimentaires (craie, calcaire, sable, ...), cristallines ou volcaniques. Elles sont classées communément en deux familles : les aquifères superficiels (0-200 m) et les aquifères profonds.

Les aquifères profonds se trouvent dans les bassins sédimentaires et peuvent atteindre pour certains des profondeurs dépassant 2 000 m. Les principaux bassins sédimentaires français sont le Bassin parisien et le Bassin aquitain mais il existe également d'autres bassins ou fossés d'effondrement de taille plus modeste : Alsace, couloir rhodanien, Bresse, Limagne, Hainaut, etc.



Les aquifères profonds en métropole

Les ressources géothermales profondes sont assez largement réparties dans notre sous-sol : Bassin parisien, Bassin aquitain, fossé rhénan, Hainaut, Limagne, Bresse, Sud-Est (couloir rhodanien).

Les techniques de production de chaleur et de froid

Pour valoriser cette ressource sous forme de chaleur, il est nécessaire d'y associer un dispositif de prélèvement et de transfert.

Les techniques de production de chaleur peuvent se classer en deux catégories :

- celles utilisant les aquifères profonds dont les températures permettent un usage direct, par simple échange, de la chaleur prélevée ;
- celles exploitant des ressources plus superficielles nécessitant l'utilisation de pompes à chaleur* pour relever le niveau de la température.

L'exploitation des ressources de faible profondeur

Les ressources de faible profondeur sont valorisées grâce à des pompes à chaleur pour couvrir des besoins de chauffage, de froid et/ou d'eau chaude sanitaire (ECS).

La température de ces ressources peu profondes varie peu, garantissant aux pompes à chaleur associées des performances annuelles stables.

Pour exploiter des ressources superficielles, il est nécessaire de distinguer les techniques fonctionnant par échange avec le sol de celles utilisant l'eau des aquifères.

■ Échange avec le sol

Le prélèvement d'énergie se fait par conduction thermique par le biais d'échangeurs enterrés. Ils sont associés à des pompes à chaleur destinées à relever le niveau de température de la source.

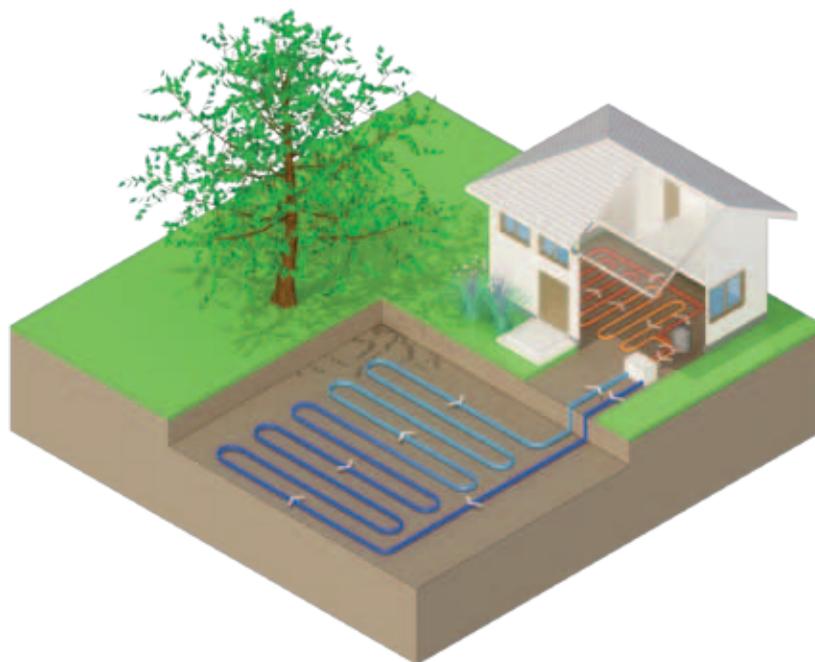
Plusieurs types d'échangeurs se distinguent.

Échangeurs horizontaux

Capteurs horizontaux

Profondeur : 0,6 à 1,20 m

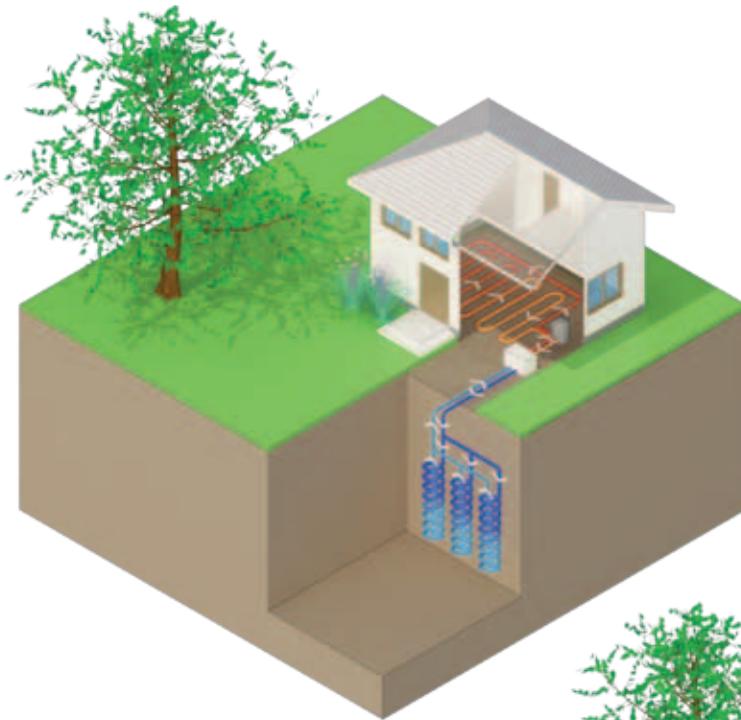
Température : 6 - 15 °C



* La pompe à chaleur (PAC) est un système thermodynamique transférant de la chaleur d'une source froide vers une source chaude (à une température supérieure à celle de la source froide).

Les échangeurs horizontaux sont constitués de tuyaux en polyéthylène enterrés horizontalement à faible profondeur (de 0,6 m à 1,2 m) dans lesquels circule un fluide caloporteur. La surface nécessaire varie généralement de 1 à 2 fois la surface à chauffer. Cette technique s'adresse essentiellement aux maisons individuelles.

Échangeurs compacts



Capteurs compacts

*Profondeur : quelques mètres
Température : 12 °C*

L'échangeur compact est une solution intermédiaire entre une sonde verticale (il ne nécessite pas de forage, mais des outils mécaniques répandus comme la tarière ou le godet) et un système d'échangeur totalement horizontal, qui minimise l'impact foncier.

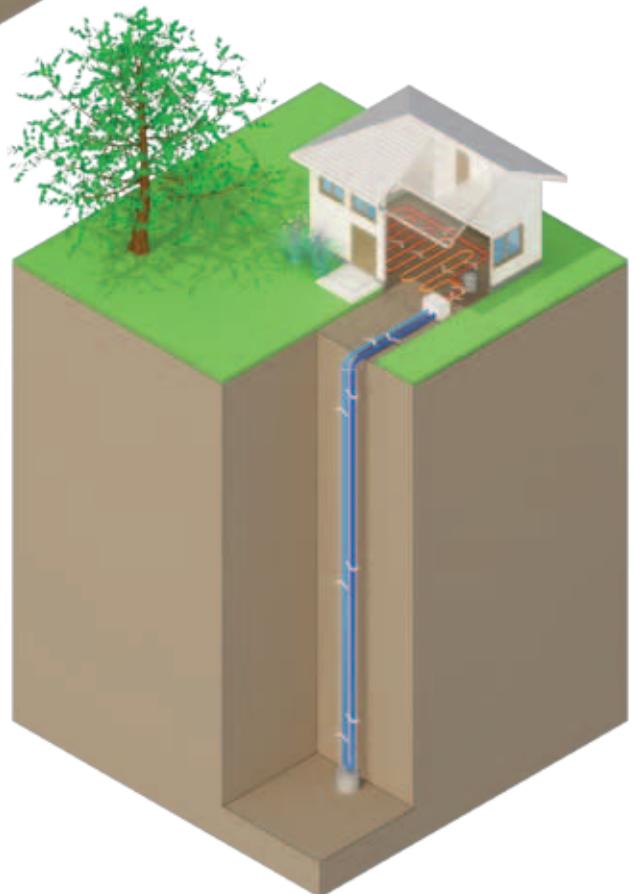
En cours de développement en France, cette technique s'adresse plus particulièrement aux particuliers et aux petits ensembles.

Échangeurs verticaux ou sondes géothermiques verticales

Une sonde verticale est constituée d'un échangeur (tube en U, ou double U, en polyéthylène), contenant un fluide caloporteur, descendu dans un forage scellé par du ciment et de la bentonite.

La longueur et le nombre de sondes varient en fonction des besoins et du type de terrain.

Ce type d'échangeur s'adresse aux maisons individuelles et aux petits ensembles collectifs ou immeubles de bureaux.



Sondes géothermiques

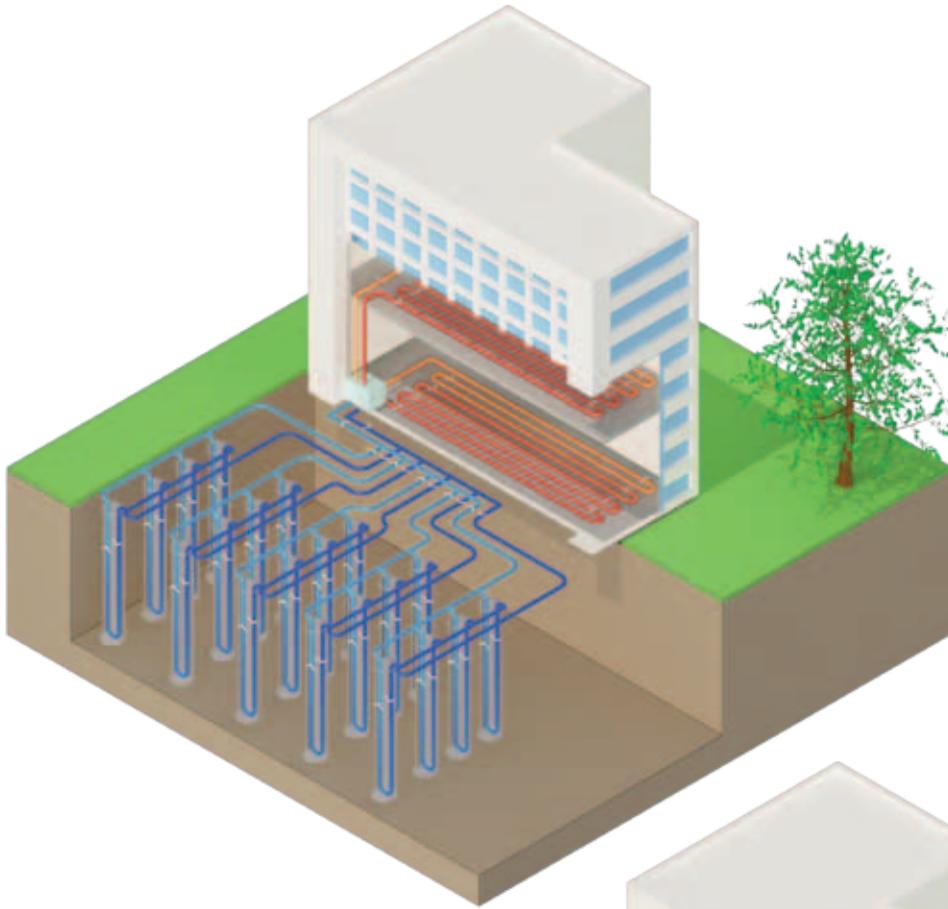
*Profondeur : jusqu'à 100 m
Température : 12 - 15 °C*

Les champs de sondes

Pour des ensembles de bâtiments, plusieurs sondes verticales, espacées d'une dizaine de mètres, peuvent être disposées jusqu'à 200 mètres de profondeur.

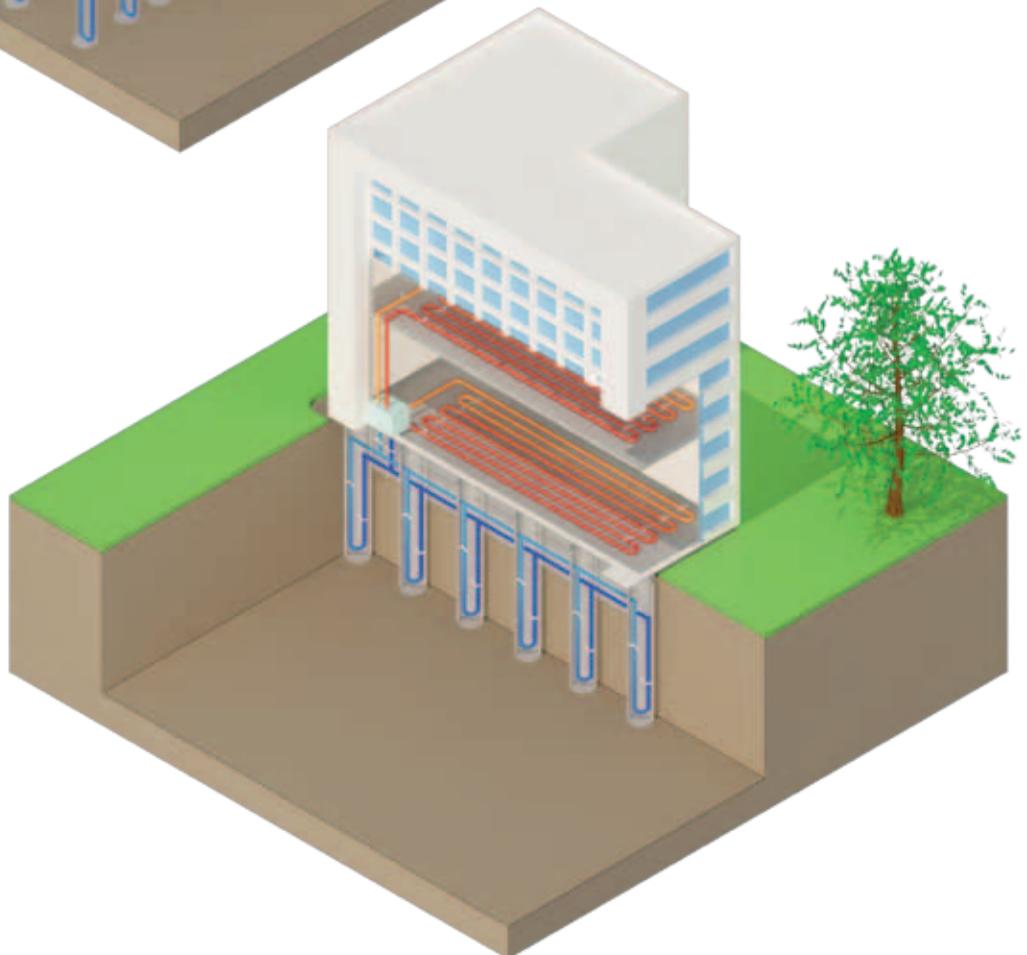
Fondations thermoactives

Le principe des fondations thermoactives consiste à intégrer, lors de leur fabrication, dans les éléments de fondations (pieux, parois moulées, dalles, semelles ou autres éléments en béton en contact avec le sol), un système de captage de l'énergie constitué d'un réseau de tubes en polyéthylène dans lequel circule en circuit fermé un fluide caloporteur.



Champs de sondes

*Profondeur : environ 100 m
Température : 12 - 15 °C*



Fondations thermoactives

*Profondeur : jusqu'à 30 m
Température : 12 °C*

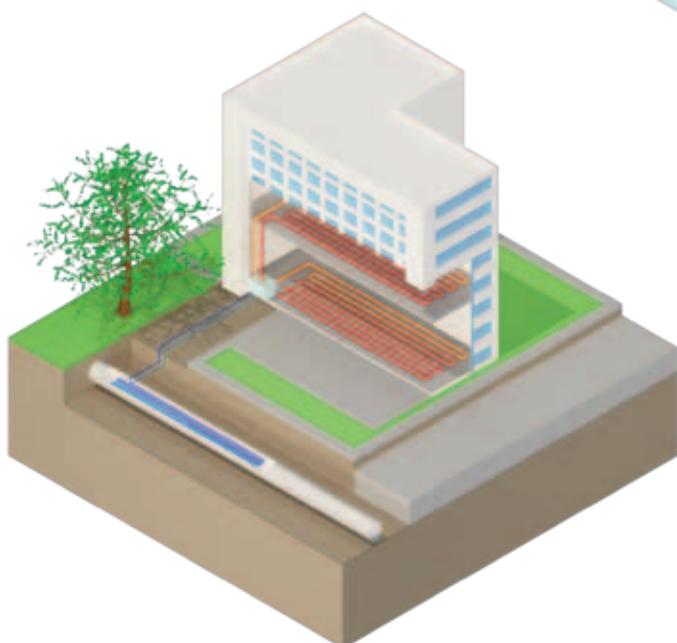
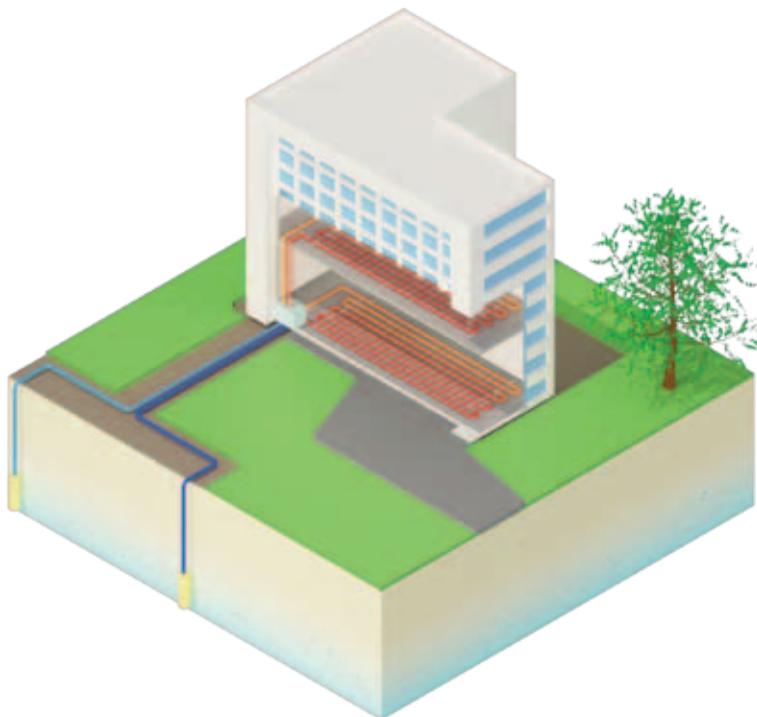
Échange avec l'eau des aquifères superficiels

La température de ces aquifères est de l'ordre de 12 à 15 °C. Dans ces conditions, en considérant un débit d'1 m³/h et un prélèvement de 6 °C sur l'eau puisée, la puissance disponible est de l'ordre d'une dizaine de kW.

Cette technique est plutôt adaptée à des immeubles de taille importante (immeubles de bureau, bâtiments de santé, hôtellerie, grandes surfaces commerciales, piscines communales, habitat collectif et serres).

■ Autres

Capteurs sur eaux usées



Puits canadiens

Dans le cas du puits canadien (appelé aussi puits provençal), l'échange thermique se fait entre le sous-sol et de l'air neuf nécessaire pour la ventilation des bâtiments. L'objectif consiste à tempérer cet air neuf (le préchauffer en hiver ou le rafraîchir en été), en le faisant circuler dans des tubes enfouis dans le sol avant d'être distribué dans le bâtiment. Ces tubes sont enfouis entre 1,8 m et 3 m pour des maisons individuelles et jusqu'à 5 ou 6 m pour certaines réalisations dans le tertiaire.

Ce procédé consiste à capter les calories présentes dans les eaux usées qui circulent dans les réseaux d'assainissement pour les transférer via une pompe à chaleur dans des bâtiments. Ces eaux présentent une température comprise entre 12 et 20 °C selon les secteurs.

La récupération des calories est réalisée à travers un échangeur placé sur des tronçons de canalisations longs de quelques dizaines de mètres.

Aquifères superficiels

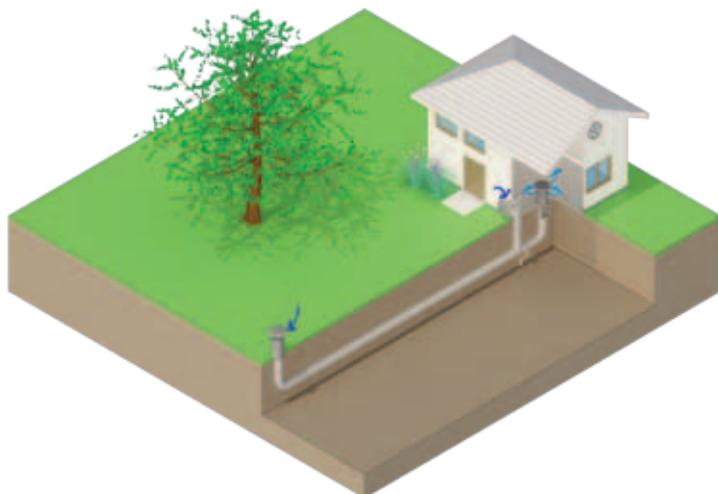
Profondeur : jusqu'à 100 m
Température : 12 - 15 °C

Capteurs sur eaux usées

Température : 12 à 20 °C

Puits canadiens

Profondeur : 1,8 à 6 m
Température : 10 à 14 °C



L'exploitation des ressources des aquifères profonds

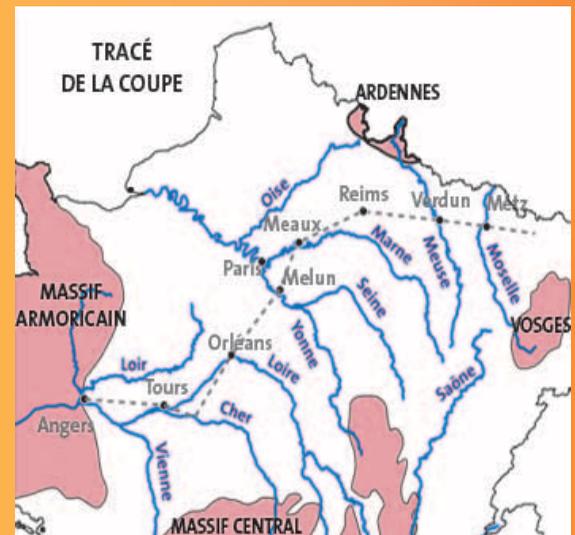
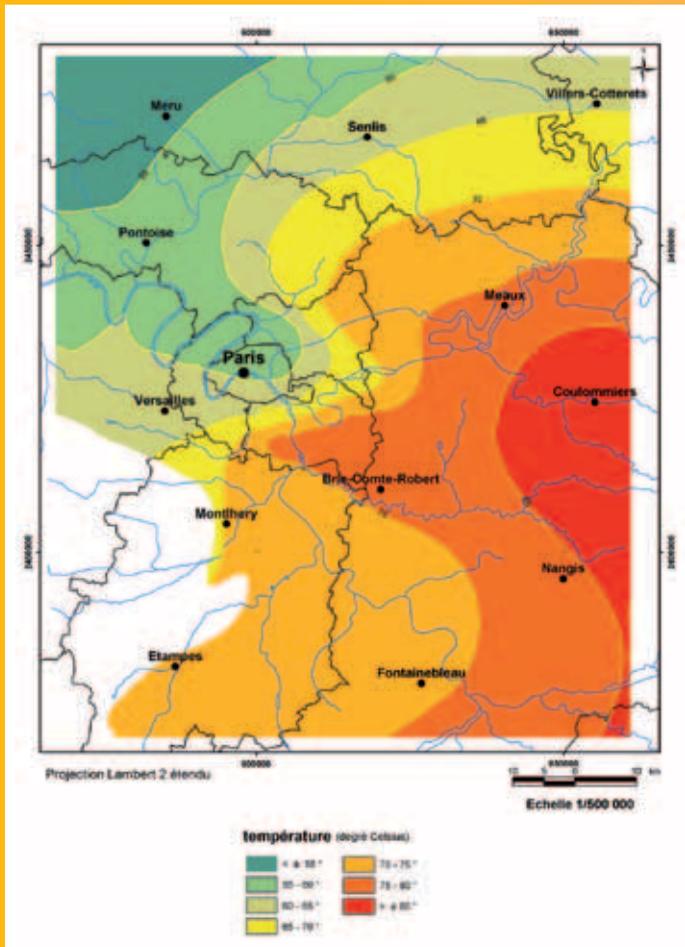
Les caractéristiques des aquifères dits «profonds» (principalement débit et température) permettent généralement un échange direct de la chaleur sans utiliser de pompe à chaleur. Les applications sont nombreuses, allant du chauffage de piscines, de bassins de pisciculture, de serres, au chauffage de bâtiments, et notamment l'alimentation de réseaux de chaleur.

EXEMPLE DU BASSIN PARISIEN

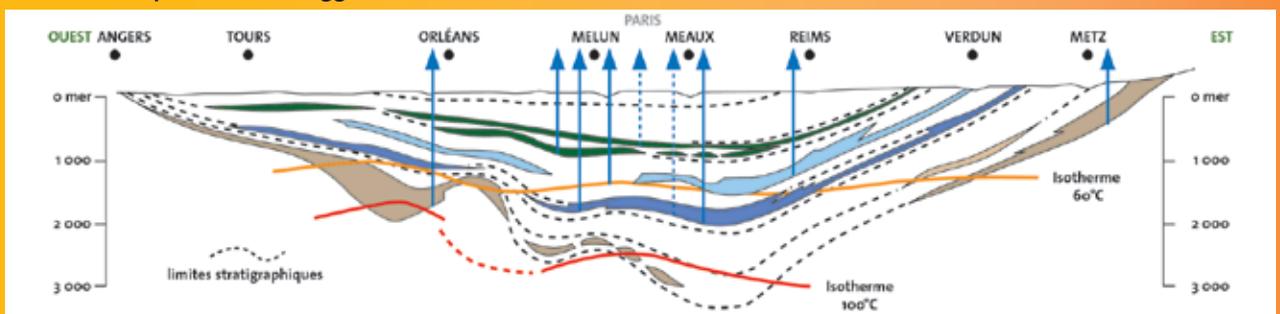
Le Bassin parisien concentre actuellement la majorité des opérations de géothermie sur aquifère profond. En effet, il regroupe de façon exceptionnelle une ressource abondante située sous des territoires fortement urbanisés, propices au développement de réseaux de chaleur.

L'eau chaude provient principalement de l'aquifère du Dogger (du nom de l'étage géologique concerné de l'ère Jurassique). Cet aquifère calcaire est situé entre 1 600 et 1 800 mètres de profondeur et s'étend sur une surface de 15 000 km².

Le potentiel géothermique du Bassin parisien a pu être recensé dès 1976. Les compléments d'information recueillis des forages réalisés depuis ont permis de préciser la géométrie et les caractéristiques de l'aquifère du Dogger. Les températures de cet aquifère sont présentées sur la carte ci-contre.



Carte des températures du Dogger



Coupe du Bassin parisien

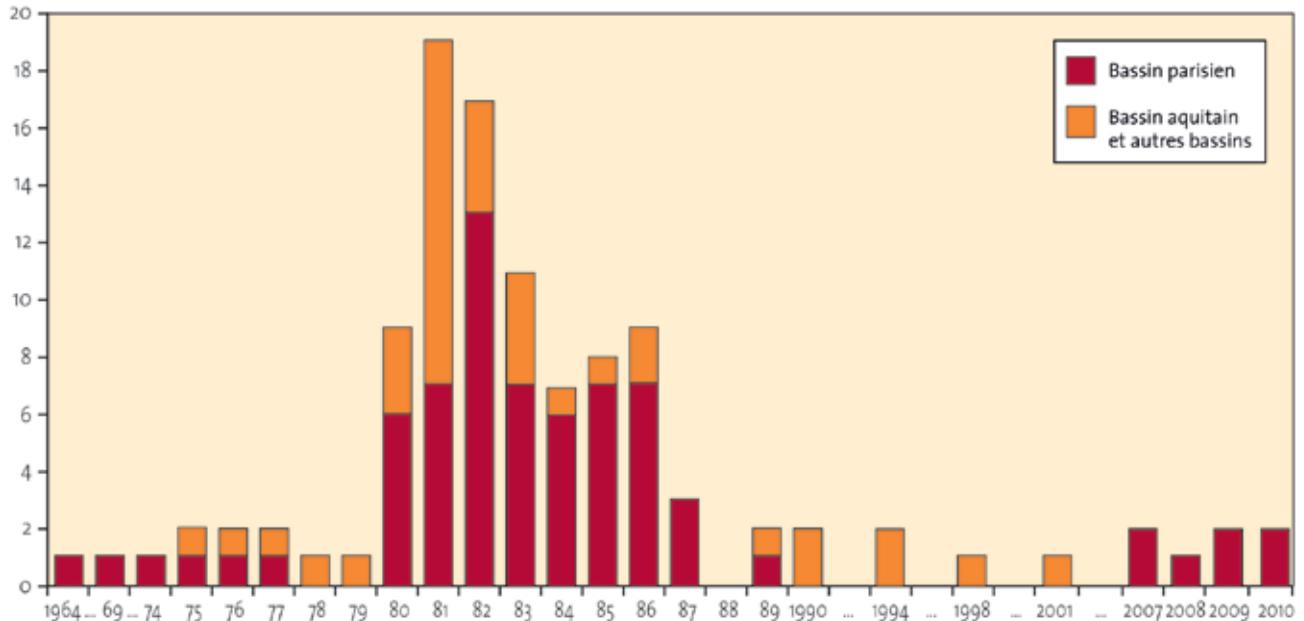
Historique

Le développement de la géothermie sur aquifères profonds en France

Les manifestations naturelles de la chaleur de la terre ont toujours constitué des pôles d'attraction pour les humains bien avant l'apparition des premières civilisations. Répertoriée comme la source la plus chaude d'Europe (82 °C), la source thermo-minérale de Chaudes-Aigues dans le Cantal était utilisée dès le XIV^e siècle pour des usages domestiques via un réseau de chaleur.

L'histoire récente de la géothermie sur aquifères profonds en France se décompose en quatre phases :

– **1964-1986 - Naissance et développement de la géothermie** : deux opérations ont été réalisées avant le premier choc pétrolier de 1973 : opération de la Maison de la Radio à Paris en 1964 et de Melun l'Almont en 1969. Cette dernière, encore en service, a démontré la faisabilité du concept de doublet géothermique. La période 1973-1986 a été marquée chronologiquement par la réalisation d'inventaires (ressource et surface), la mise en place de structures et de procédures incitatives. Durant cette période, 85 opérations ont été lancées, essentiellement dans les bassins sédimentaires d'Ile-de-France et d'Aquitaine.



– **1986-1997 - Des difficultés techniques et financières** : la baisse du coût des énergies fossiles, suite au contre-choc pétrolier de 1986, touche de plein fouet les opérations les plus fragiles, notamment celles financées en quasi-totalité par emprunt par des maîtres d'ouvrage publics (collectivités). Un certain nombre d'opérations sont arrêtées pour des raisons financières.

Historique des opérations en France avec indication du nombre de puits forés ou réhabilités

À cela se sont ajoutés des problèmes techniques liés à la nature agressive du fluide géothermique des opérations exploitant l'aquifère du Dogger du Bassin parisien. Avec le concours de l'ADEME et du BRGM, des solutions à ces problèmes ont été apportées au début des années 1990.

Malgré ces difficultés, les deux tiers des opérations franciliennes lancées au début des années 80 sont aujourd'hui toujours en exploitation.

– **1998-2007 - Reconnaissance de la géothermie** : suite à la ratification du protocole de Kyoto (1997), une politique de soutien aux énergies renouvelables est amorcée. Cela se traduit pour la géothermie, notamment par la mise en place d'une procédure d'aide aux extensions des réseaux existants. Plus de 12 000 équivalents logements ont ainsi été raccordés à la géothermie sur cette période, soit environ 8 à 10 % de la capacité existante.

Parallèlement, des études sont menées pour mettre sur pied un plan de relance de la géothermie avec réactualisation des données sur les ressources géothermiques régionales, notamment en Ile-de-France.

– **2007 - Renaissance de la géothermie** : c'est l'année de la relance de la géothermie en Ile-de-France : opération de réhabilitation à création d'un nouveau doublet à Orly en 2007, réhabilitation d'un doublet existant en triplet à Sucy-en-Brie (2008) et création d'un doublet à Paris (Porte d'Aubervilliers) en 2009 et sur la plateforme aéroportuaire d'Orly en 2010. D'autres projets sont en cours.

La production actuelle de géothermie sur aquifères profonds

■ Production française

Les trois quarts de l'énergie fournie par la géothermie sur aquifères profonds le sont par le biais de réseaux de chaleur. Le reste correspond à des applications de type process industriels et mini-réseaux de chaleur : logements collectifs, bâtiments du secteur tertiaire (hôpitaux, centres commerciaux, bureaux). Au niveau national, la géothermie basse température permet de chauffer plus de 200 000 équivalent-logements.

Bilan prévisionnel 2010 des opérations supérieures à 1 000 tep

Source : Valor, étude 2010
La liste des opérations est disponible sur :
www.geothermie-perspectives.fr

Bilan énergétique et environnemental (géothermie profonde 2010)			
	Ile-de-France	Autres régions	France entière
Nombre d'opérations	32	8	40
Énergie substituée (en tep)	104 940	13 100	118 040
Émission de CO ₂ évitée (tonnes/an)	244 280	36 380	280 660

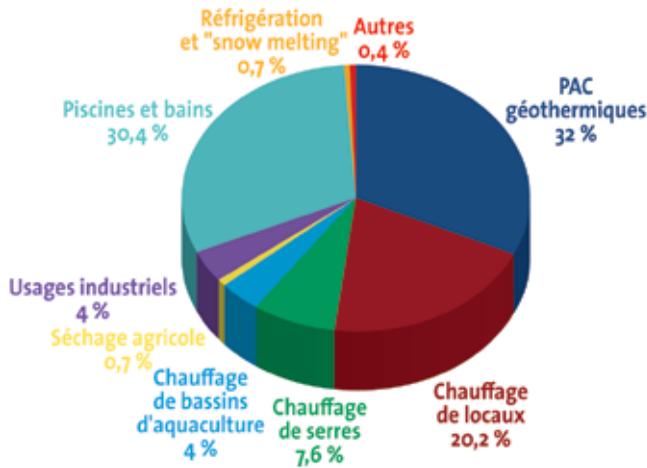
■ Production européenne

Le bilan ci-dessous présente la production de chaleur avec usage direct de la chaleur géothermale. Ces chiffres comprennent l'énergie produite pour alimenter des réseaux de chaleur mais également les autres usages (balnéothérapie, agriculture, ...).

Utilisation directe de la chaleur géothermique
(hors pompes à chaleur)
dans les pays de l'Union Européenne estimée pour 2008 (Source : État des énergies renouvelables en Europe, édition 2008, 9^{ème} bilan EurObserv'ER)

	Puissance (en MWth)	Énergie prélevée (en ktep)		Puissance (en MWth)	Énergie prélevée (en ktep)
Hongrie	694,2	189,6	Slovénie	44,7	14,7
Italie	500	176,7	Portugal	30,4	10,3
France	312	114	Espagne	22,3	8,3
Allemagne	280	14	Lituanie	17	8,7
Roumanie	145,1	67,9	Belgique	9	1,6
Slovaquie	142,8	13	République tchèque	4,5	2,1
Pologne	110	11,5	Royaume-uni	3	1,9
Autriche	97	16	Irlande	0,4	0,5
Bulgarie	77,7	25,9	Total	2 559,9	689,2
Grèce	69,8	12,5			

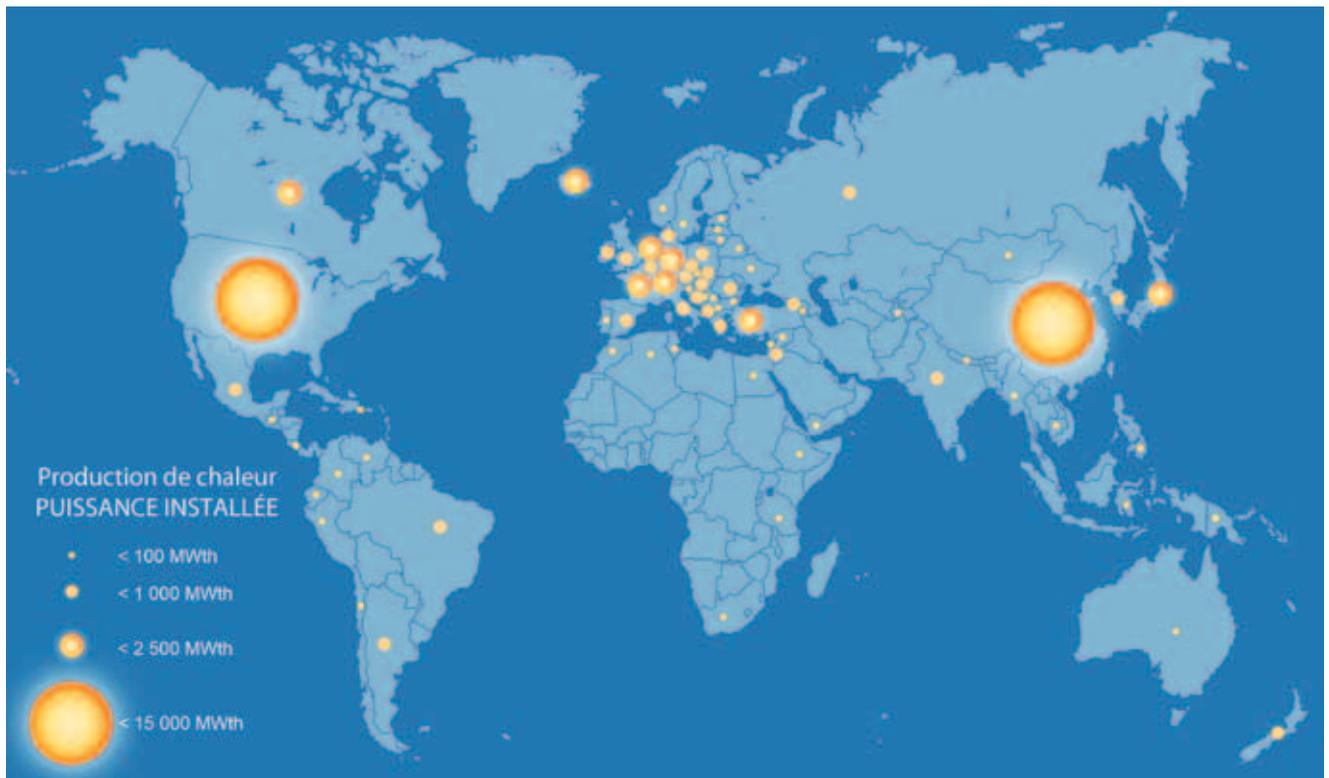
■ Production mondiale



La chaleur géothermique dans le monde
© Lund et al (2005)

En matière de production de chaleur par usage direct sur un total de 78 pays, la capacité globale, pour l'année 2009, est de 50,6 GW et la production annuelle de 121 600 GWh (1 414 Mtep). Les cinq principaux pays producteurs, en termes de capacité installée, sont les États-Unis, la Chine, la Suède, la Norvège et l'Allemagne (60 % de la capacité mondiale).

Répartition des usages de la chaleur au niveau mondial
Le chauffage par pompes à chaleur est prépondérant.
Source : WGC 2010



Le secteur du bâtiment est responsable de 23 % des émissions de CO₂ et de 43 % de la consommation d'énergie finale en France. Près de 70 % de la consommation d'énergie du secteur résidentiel est liée aux besoins de chauffage et de climatisation. Il y a donc dans ce domaine une source importante d'amélioration qui doit passer tout d'abord par la maîtrise de l'énergie et l'efficacité énergétique (qualité des bâtiments, comportements individuels, ...) mais également par la pénétration des énergies renouvelables dans le marché.

L'énergie géothermique présente des avantages non négligeables qui lui permettent de participer au développement de solutions durables.

C'est une énergie :

- **locale** : lorsque les ressources sont disponibles et en adéquation avec les besoins en surface, aucun transport d'énergie n'est nécessaire. Cela permet également un développement local.
- **écologique** : une exploitation géothermique produit très peu de gaz à effet de serre.
- **régulière** : la géothermie n'est pas tributaire des conditions climatiques extérieures : elle dépend uniquement des caractéristiques intrinsèques du sous-sol.
- **renouvelable** : correctement gérée, la chaleur du sous-sol reste stable ou est régénérée (au travers des écoulements souterrains, de manière naturelle ou artificielle).
- **économiquement compétitive** : la géothermie est une énergie capitalistique : les investissements élevés sont compensés par des coûts d'exploitation faibles.

Pour utiliser au mieux la chaleur géothermique, les réseaux de chaleur ont un rôle essentiel à jouer car ils permettent d'acheminer la chaleur d'origine renouvelable, tout en affranchissant l'utilisateur final des contraintes éventuelles liées à l'approvisionnement et à la manipulation de la source (le bois par exemple). Parmi l'ensemble des solutions renouvelables disponibles pour alimenter les réseaux de chaleur, la solution géothermique doit donc être considérée.

S'appuyant sur des installations de production d'énergie de taille significative, ils permettent également une meilleure maîtrise des émissions polluantes (particules, oxydes d'azote, ...). Les réseaux de chaleur desservent aujourd'hui un peu plus d'un million de logements, c'est-à-dire 4 % du parc national. Les énergies renouvelables ou de récupération représentent actuellement un peu plus de 20 % de la consommation des réseaux. Il y a donc un grand potentiel pour accroître la part de ces énergies dans le bouquet énergétique des réseaux.

Un point sur la politique française de « développement durable »

■ Le Plan climat

La France s'est engagée, en ratifiant le protocole de Kyoto, à stabiliser sur la période 2008-2012 ses émissions de gaz à effet de serre à leur niveau de 1990. Pour atteindre cet objectif, le Gouvernement a lancé en juillet 2004 le « Plan climat 2004-2012 », premier plan complet définissant des actions nationales de prévention du changement climatique. Ce plan a été réactualisé en 2006.

■ La loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique, dite loi POPE

A travers cette loi, la France s'est fixée comme objectif national de diviser par 4 ses émissions de gaz à effet de serre (GES) d'ici 2050 (Facteur 4). Adoptée le 23 juin 2005, elle est l'aboutissement d'un processus engagé en janvier 2003 avec le débat national sur les énergies. La loi fixe les quatre grands objectifs de politique énergétique française et les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir :

- contribuer à l'indépendance énergétique nationale et garantir la sécurité d'approvisionnement ;

- assurer un prix compétitif de l'énergie ;
- préserver la santé humaine et l'environnement, en particulier en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre ;
- garantir la cohésion sociale et territoriale en assurant l'accès de tous à l'énergie.

■ Le Grenelle de l'environnement

Les autorités françaises ont mis en place en 2007 une démarche originale, le « Grenelle de l'environnement ». Pour la première fois, l'État, les collectivités territoriales et les représentants de la société civile ont été réunis afin de définir une feuille de route en faveur de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables, en établissant notamment un plan de mesures concrètes recueillant un accord le plus large possible des participants. Trente-quatre « comités opérationnels » (COMOP), dédiés chacun à un thème spécifique, ont été constitués afin de traduire les objectifs fixés en mesures concrètes. Plusieurs programmes ont été définis, dont le programme en faveur des énergies renouvelables (issu du COMOP n° 10 qui a produit le rapport « Plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale 2008-2012-2020 »).

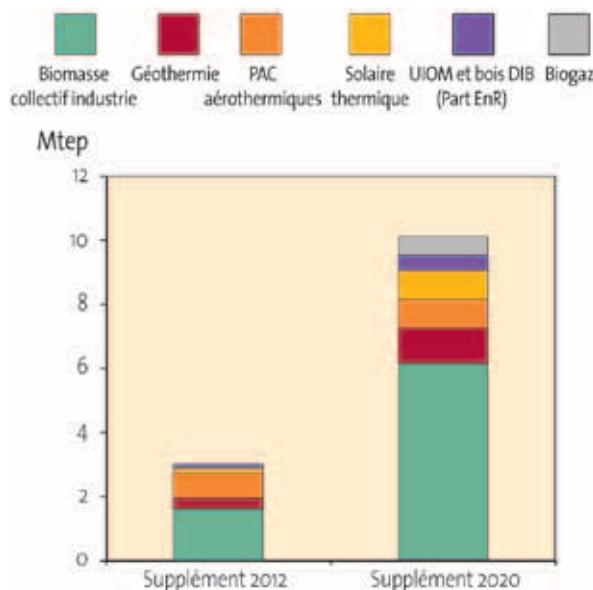
Ces discussions ont abouti à la mise en place de deux lois importantes : la loi de programme relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite loi « Grenelle 1 », adoptée le 3 août 2009 et la loi d'engagement national pour l'environnement dite loi « Grenelle 2 », adoptée le 29 juin 2010, fixant les mesures pour atteindre les objectifs.

Les perspectives de développement de la géothermie

Le paquet « énergie-climat » européen, adopté en décembre 2008, fixe un objectif de 23 % d'énergies renouvelables en France dans la consommation finale d'énergie pour 2020. Cet objectif a été conforté au niveau national par le Grenelle de l'environnement. Atteindre cet objectif suppose d'augmenter de 20 millions de tonnes équivalent pétrole (tep) la production annuelle d'énergie renouvelable d'ici 2020, en portant celle-ci à 37 Mtep.

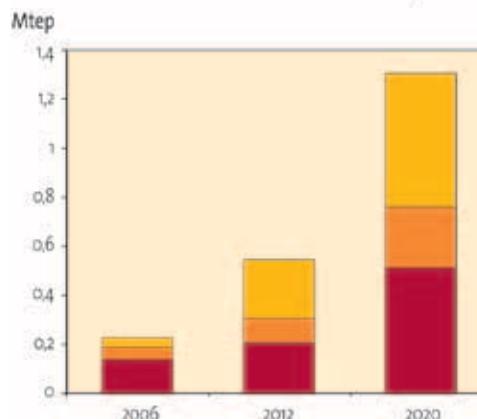
Concernant la chaleur renouvelable, la prospective dressée est d'augmenter la production de 10 Mtep, avec la répartition indiquée sur le graphique «objectifs de production d'énergies renouvelables supplémentaires».

Parmi ces énergies, la géothermie, particulièrement pertinente pour la fourniture de chaud ou de froid dans le bâtiment doit constituer un des piliers du développement des énergies renouvelables. Le comité opérationnel « énergies renouvelables » (COMOP n° 10) du Grenelle de l'environnement a proposé une multiplication par 6 de la géothermie et des pompes à chaleur à l'horizon 2020, soit une contribution de 2 Mtep représentant 10 % de l'augmentation de la production d'énergie renouvelable à cet horizon. Ces chiffres sont repris dans la Programmation pluriannuelle des investissements chaleur (PPI Chaleur 2009-2020).



Objectifs de production de chaleur géothermale en Mtep
(Source : PPI Chaleur 2009-2020)

Plus précisément, le graphique ci-contre montre les objectifs de production pour la chaleur géothermale.



Les perspectives de développement des réseaux de chaleur

Une mesure incitative a été prise pour le développement de l'utilisation d'énergies renouvelables dans les réseaux de chaleur, en fixant le taux de TVA à 5,5 % pour les réseaux à plus de 50 % d'ENR.

Ainsi, globalement, la facture énergétique du client (utilisateur final) est composée :
 – d'une part fixe (abonnement) dont la TVA est fixée à 5,5 % pour tout type d'alimentation ;
 – et d'une part variable, proportionnelle à la consommation d'énergie, dont la TVA est fixée à 19,6 % ou à 5,5 % pour les réseaux utilisant plus de 50 % d'énergies renouvelables (loi du 13 juillet 2006).

Concernant les réseaux de chaleur, la PPI Chaleur (Programmation Pluriannuelle des Investissements) chiffre à 3,2 Mtep le volume d'énergie renouvelable à mobiliser via les réseaux de chaleur en 2020 :

biomasse	1,2 Mtep
UIOM et bois DIB	0,9 Mtep
biogaz	0,6 Mtep
géothermie profonde	0,5 Mtep

L'impact des lois Grenelle : Fonds Chaleur, classement des réseaux, ...

Le Grenelle de l'environnement a mis en place de nouvelles politiques publiques incitatives pour le développement des énergies renouvelables et pour les réseaux de chaleur.

La loi « Grenelle 1 » a permis la création d'un Fonds Chaleur renouvelable pour subventionner les opérations et a également rendu obligatoire l'étude d'opportunité de création ou de raccordement à un réseau de chaleur/froid renouvelable pour toute opération d'aménagement soumise à étude d'impact.

La loi « Grenelle 2 » devrait également permettre de faciliter l'augmentation de la durée de concession des réseaux de chaleur qui utilisent des sources d'énergies renouvelables et de réviser la procédure de classement d'un réseau. En effet, cette procédure mise en place par le décret n° 81-542 du 13 mai 1981 n'a profité qu'à un seul réseau en raison de sa complexité de mise en œuvre.

D'autres mesures comme l'obligation de comptage au niveau des points de livraison et l'ajustement des puissances souscrites suite à réhabilitation thermique du bâtiment concernent également directement les réseaux de chaleur.

Les caractéristiques d'un réseau de chaleur

Le principe

Un réseau de chaleur, ou réseau de chauffage urbain, est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur à plusieurs bâtiments pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire.

Le réseau de chaleur est constitué d'un réseau primaire de canalisations empruntant le domaine public ou privé, transportant de la chaleur qui alimente des postes de livraison (appelés sous-stations) installés dans les immeubles des utilisateurs. Sur les mêmes principes, il existe des réseaux distribuant du froid, transporté sous forme d'eau glacée et destiné à la climatisation de locaux. Les collectivités territoriales (communes ou groupement de communes) ont compétence pour créer un service public local de distribution d'énergie calorifique.

Il y a actuellement en France* près de 450 réseaux de chaleur qui chauffent l'équivalent de plus de 2 millions d'habitants dans leur vie quotidienne, au travail ou dans leurs loisirs, dans plus de 350 villes. Cela représente annuellement 25 256 GWh d'énergie distribuée à 24 000 sous-stations. En France, les deux tiers des bâtiments chauffés par des réseaux de chaleur sont des logements ; le tiers restant est constitué essentiellement de bâtiments du secteur tertiaire (dans lesquels on compte les établissements de santé, d'enseignement, ...).

Le fonctionnement

■ Les installations de production de chaleur

Les installations de production de chaleur produisent l'énergie calorifique nécessaire pour alimenter le réseau. Elles garantissent la température de l'eau ou la pression de la vapeur dans les canalisations pour acheminer la chaleur jusqu'aux consommateurs.

Afin de produire l'énergie nécessaire au chauffage des bâtiments, les réseaux utilisent des énergies d'origines multiples : énergies renouvelables et de récupération (géothermie, biomasse, valorisation énergétique des déchets, ...), combustibles de réseau (gaz) et combustibles stockables (charbon, fioul).

Les réseaux utilisant plusieurs énergies offrent des avantages en termes de flexibilité, de sécurité d'approvisionnement.

Le recours aux énergies renouvelables ou de récupération permet de contribuer à la protection de l'environnement, à la préservation de l'emploi local et à la stabilité des prix de vente de la chaleur.

Par ailleurs, plus de 200 réseaux sont équipés de cogénération (production simultanée de chaleur et d'électricité) et produisent ainsi plus de 5 500 GWh d'électricité en complément de la chaleur qu'ils délivrent.

Les installations de production, suivant leur taille et caractéristiques, relèvent de la réglementation relative aux ICPE et autres réglementations locales, en fonction de l'implantation de cette installation : Zones de protections spéciales (ZPS), Plan régional de la qualité de l'air (PRQA), Plan de protection de l'atmosphère (PPA), ...

* Source SNCU

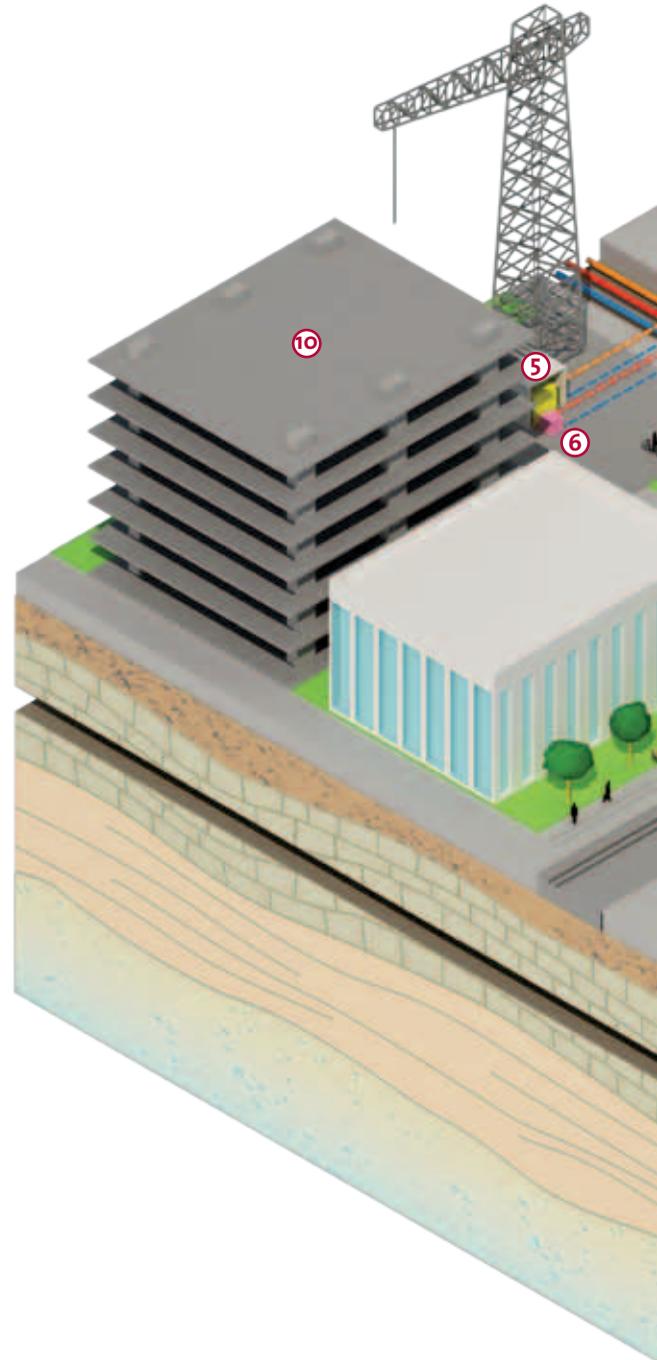


Schéma général d'un réseau de chaleur

1 Pompe, puits de production (rouge), puits d'injection (bleu), têtes de puits

2 Centrale géothermique

3 Chaufferie d'appoint

4 Réseau enterré

5 Échangeur pour le chauffage

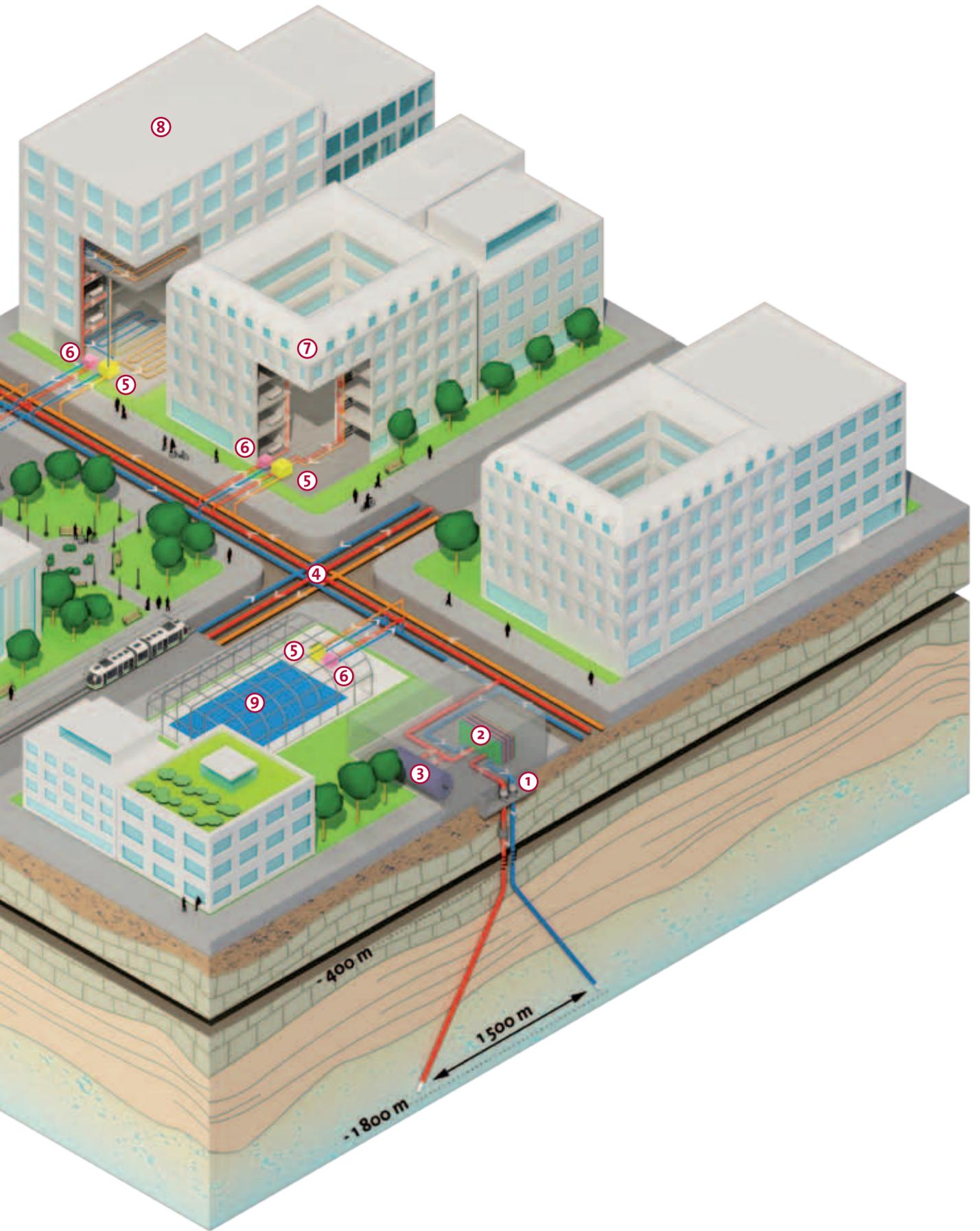
6 Échangeur pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS)

7 Bâtiment chauffé par radiateurs haute température

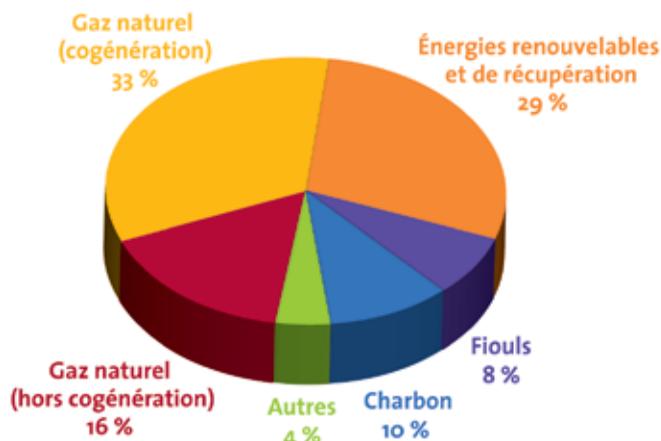
8 Bâtiment chauffé par plancher chauffant basse température

9 Piscine chauffée en basse température

10 Bâtiment en travaux



Bouquet énergétique
des réseaux de chaleur
français (Source : Enquête
annuelle de branche 2009,
SNCU)



■ Les canalisations

Pose de tubes préisolés
formant un réseau tri-tubes
avec sablon et compactage
de la fouille (© Semhach)



Un réseau de chaleur fonctionne en circuit fermé : il comprend toujours au moins deux canalisations, l'une pour distribuer la chaleur vers les utilisateurs, l'autre pour le retour du fluide refroidi vers les installations de production.

Le fluide est distribué dans les réseaux à des pressions de 5 à 15 bars. Concernant les réseaux géothermiques, les températures sont variables mais toujours inférieures à 110 °C.

Deux techniques sont utilisées : tubes en caniveau avec isolation de laine de verre ou tubes préisolés en usine et posés en pleine terre. La technique caniveau est plus sûre en termes de maintenance et de prévention des fuites mais son coût est nettement plus élevé. La majorité des réseaux de chaleur est équipée de tubes préisolés.

Les équipements de distribution sont soumis notamment aux réglementations liées à l'usage du domaine public.

■ Les sous-stations

Dans chaque bâtiment raccordé au réseau de chaleur se trouve une sous-station qui abrite le poste de livraison où l'eau chaude (ou la vapeur) transfère sa chaleur aux installations du bâtiment via un échangeur thermique. C'est dans la sous-station que le comptage de la chaleur livrée est effectué. C'est également au niveau de la sous-station que l'on distingue le réseau primaire (qui relie la ou les installations de production au bâtiment) du réseau secondaire (qui distribue la chaleur dans un bâtiment ou groupe de bâtiments). La sous-station joue le rôle d'une chaufferie classique avec l'avantage d'être plus simple, plus sûre et beaucoup moins encombrante. Les bâtiments sont raccordés dès la réalisation du réseau de chaleur, ou ultérieurement en fonction de son extension.

Selon les réseaux, la sous-station peut dépendre du réseau « secondaire » ou du réseau « primaire », donc soit du gestionnaire du bâtiment, soit de l'exploitant du réseau de chaleur. L'optimisation globale du réseau est favorisée dans ce dernier cas, ce qui permet à l'exploitant de réduire au maximum la température de retour du réseau.



Exemple de sous-station
L'eau chaude qui arrive de la centrale géothermique transfère sa chaleur dans un échangeur (en jaune) qui alimente le réseau de radiateurs du bâtiment (tuyaux rouges). Du fait qu'il s'agit de radiateurs haute température, la température de retour est encore suffisante pour alimenter (tuyau orange) un autre bâtiment équipé par exemple de planchers chauffants qui requièrent une température moins élevée. La production d'eau chaude sanitaire est assurée par un autre échangeur (en rose).

Les choix des caractéristiques du réseau secondaire sont également importants et plus particulièrement le choix des émetteurs de chaleur.

L'organisation d'un réseau de chaleur

La gestion du service public

La distribution d'énergie calorifique fait partie des services publics locaux dont l'existence est reconnue par la loi du 15 juillet 1980. Cette loi indique en effet en son article 3 que « l'initiative de la création des réseaux de chaleur revient aux collectivités territoriales qui doivent les gérer selon les dispositions du code général des collectivités territoriales ».

Ce texte confirme la compétence des collectivités territoriales pour créer et gérer les réseaux de chaleur mais ne leur en confie pas l'exclusivité : la vente de chaleur n'est en effet pas un monopole public. Il existe des réseaux de chaleur privés dont les spécificités ne sont pas traitées dans ce guide.

Lorsqu'ils sont créés à l'initiative de la collectivité territoriale, les réseaux de chaleur sont des services publics à caractère industriel et commercial, c'est-à-dire des activités gérées sous le régime du service public.

Ils obéissent pour leur organisation à des règles de droit public mais pour leur fonctionnement, en particulier les relations avec leurs usagers, à des règles de droit privé. La collectivité territoriale est donc l'autorité organisatrice du service public de distribution de chaleur. Elle peut soit l'exercer elle-même au travers d'une « régie », soit le déléguer à une entreprise privée. La délégation de service public (concession ou affermage) est le mode de gestion des réseaux de chaleur le plus utilisé en France (54 % des réseaux de chaleur sont en concession, 27 % en affermage et 19 % en régie).

Principes généraux d'un service public

Que le service soit géré en direct ou délégué, il doit respecter les règles générales de tout service public et notamment :

- **l'égalité des usagers** à la fois dans l'accès au service et dans son traitement. C'est une règle de droit impérative. Elle est respectée lorsque toutes les personnes placées dans la même situation sont traitées de la même façon. Des différences de traitements peuvent être introduites si elles sont justifiées par des différences de situation des usagers par rapport au service, mais elles ne doivent en aucun cas avoir un caractère personnel (par exemple : des différences de tarifs peuvent être appliquées lorsqu'elles sont basées sur des différences techniques objectives mais pas sur la nature juridique du client) ;
- **la continuité du service public**, sauf cas de force majeure ;
- **la mutabilité**, ou l'adaptation constante du service, notamment aux évolutions techniques, dans le cadre des exigences de l'intérêt général.

■ La gestion directe : la régie

Le service est géré par la collectivité elle-même, avec plusieurs solutions possibles, en particulier :

- la régie directe (appelée aussi « régie de fait » ou « régie simple ») : il s'agit d'un service municipal comme un autre, avec en général (mais pas obligatoirement) du personnel à statut communal et un budget particulier identifié au sein du budget de la collectivité. La régie directe ne dispose pas d'organe de gestion autonome ;
- la régie dotée de l'autonomie financière : elle est gérée par un directeur et un conseil d'exploitation désigné par le conseil municipal, mais ne dispose pas de la personnalité

juridique. Ses organes de décision sont l'assemblée délibérante et l'exécutif de la collectivité. Son budget est indépendant du budget de la commune, mais cependant voté par le conseil municipal ;

– la régie à personnalité morale et autonomie financière : elle dispose d'un conseil d'administration désigné par le conseil municipal, d'un budget autonome et d'un personnel à statut spécifique. Elle peut posséder un patrimoine propre.

Il convient de noter que la prestation de service public peut également faire appel à un marché public, c'est-à-dire un contrat conclu conformément aux dispositions du code des marchés publics. Il s'agit alors d'une gestion en régie assortie d'une prestation de service. Cette prestation peut concerner une part plus ou moins importante de l'étendue des fonctions assurées. En général, dans le cas des réseaux de chaleur, ces prestations concernent la construction et/ou l'exploitation des équipements nécessaires à l'exécution du service public.

■ La gestion déléguée

La gestion déléguée est un système dans lequel l'exécution du service est confiée à un tiers. Les règles de la délégation de service public ont été précisées dans la loi du 29 janvier 1993, dite loi Sapin. C'est un mode contractuel qui se distingue des formules prévues par le code des marchés publics.

Selon l'article L1411-1 du code général des collectivités territoriales, « une délégation de service public est un contrat par lequel une personne morale de droit public confie la gestion d'un service public dont elle a la responsabilité à un délégataire public ou privé, dont la rémunération est substantiellement liée aux résultats de l'exploitation du service. Le délégataire peut être chargé de construire des ouvrages ou d'acquérir des biens nécessaires au service ».

Les deux principaux modes de délégation de service public sont la concession et l'affermage.

Concession

La concession est un contrat qui charge un tiers (une entreprise privée, une société d'économie mixte, ...) d'exécuter un ouvrage public et d'en assurer le fonctionnement selon les règles de service public, à ses risques et périls. Le concessionnaire se rémunère par la perception du prix de vente du service, acquitté par les usagers.

Affermage

L'affermage se distingue de la concession par le fait que les dépenses d'investissement sont réalisées par la collectivité. Le fermier reçoit les ouvrages réalisés par la collectivité et les exploite à ses risques et périls. Il se rémunère par la perception du prix de vente du service, acquitté par les usagers. La collectivité est remboursée de l'amortissement des investissements, soit par des droits de raccordement demandés aux abonnés lors du branchement, soit par un supplément (ce supplément est appelé « redevance d'affermage » ou « surtaxe ») que le fermier inclut dans son tarif de vente de la chaleur et qu'il reverse à la collectivité.

Autres formes de gestion déléguée

Entre les deux formes de concession et d'affermage bien définies ci-dessus, toutes les situations intermédiaires peuvent exister : concessions où la collectivité finance une partie des investissements directement ou par l'intermédiaire d'un tiers, affermages où le fermier participe au financement d'investissements en cours de contrat, ...

Les contrats de délégation de service public de distribution d'énergie calorifique

Dans le cadre de la délégation de service public, la collectivité conserve, dans une certaine mesure, l'usage des prérogatives de la puissance publique qui lui sont propres : à la fois pour orienter le contrat dans le sens de l'intérêt général mais également pour sanctionner les manquements à ses obligations de son délégataire.

Elle dispose, dans l'exécution du contrat, d'un véritable pouvoir de contrôle, de modification, de sanction et de résiliation, dans l'intérêt du service public délégué. En contrepartie, le délégataire dispose du droit à l'équilibre financier du contrat, au moment de la détermination du tarif et au cours de l'exécution du contrat.

Ces droits et devoirs doivent être précisés dans le contrat de délégation du service public de distribution d'énergie calorifique.

Des **modèles de cahier des charges** relatifs à la concession et à l'affermage de la distribution d'énergie calorifique sont disponibles (circulaire du 23 novembre 1982 relative à la distribution d'énergie calorifique). Ils sont complétés par un **modèle de règlement de service** (circulaire du 5 mai 1988 relative au modèle de règlement du service de la distribution d'énergie calorifique).

Ces modèles ne sont pas obligatoires mais constituent une référence utile.

Les **points essentiels de ces modèles** sont :

- la durée des contrats ;
- l'obligation faite au concessionnaire d'utiliser une énergie de substitution (énergies renouvelables ou de récupération) à la demande de la collectivité ;
- la fourniture à la collectivité d'un bilan financier prévisionnel et des comptes d'exploitation annuels ;
- l'adoption d'une tarification binôme pour la vente de la chaleur ainsi que les modalités d'évolution et de révision des tarifs ;
- la révision du contrat dans une série de cas précis ;
- la définition dès la construction des conditions de reprises des installations en fin de contrat, ...

En plus de 25 ans, le contexte a très largement évolué et certaines problématiques actuelles (telles que les émissions de gaz à effet de serre, les spécificités liées aux énergies renouvelables, ...) ne sont pas ou sont mal prises en compte dans les modèles de cahier des charges. Un groupe de travail constitué dans le cadre de la convention de partenariat entre l'ADEME et AMORCE a proposé en 2010 un **document de préconisations** pour actualiser ces modèles de cahier des charges de Délégation de Service Public.

Différents modes d'exploitation

(source : guide de l'utilisateur du chauffage urbain édité par Via Séva)

	Financement	Réalisation des investissements	Exploitation et gestion	
Régie				Collectivité
Affermage			10 à 15 ans	
Concession			20 à 30 ans	Opérateur

Les acteurs d'un réseau de chaleur

■ La collectivité : autorité compétente responsable du service public de distribution de chaleur

La distribution publique de chaleur est de compétence communale. La commune peut transférer sa compétence à une intercommunalité dont elle fait partie (syndicat, communauté de communes, ...). Le réseau de chaleur est donc un bien public. Le rôle de l'autorité compétente consiste à organiser le service et à veiller à son bon fonctionnement et à sa bonne gestion tout au long de la vie du réseau.

La collectivité :

- définit le périmètre à l'intérieur duquel le réseau se développe ;
- définit les caractéristiques techniques de la production de chaleur ;
- choisit le mode de financement, d'exploitation et l'opérateur du réseau ;
- élabore et signe les actes (notamment les contrats) nécessaires à la mise en œuvre de ses décisions ;
- contrôle la bonne exécution des contrats ;
- analyse chaque année les documents d'exploitation (rapport annuel) ;
- organise la concertation et l'information des usagers et tient à la disposition du public les documents réglementaires ;
- négocie les éventuelles modifications (changement d'installations, de mode d'exploitation, modernisation ou extension du réseau, évolution de la tarification, diversification de la production de chaleur, ...).

À chaque instant de la vie du réseau, la collectivité reste garante de la qualité du service public et de l'égalité de traitement des usagers.

■ L'opérateur : gestionnaire du réseau

L'opérateur, gestionnaire du réseau primaire, est désigné par la collectivité en fonction des modalités de réalisation et de gestion qu'elle a choisies.

Dans le cas de la régie, une délibération de l'autorité compétente définit les responsabilités et l'organisation du service de la collectivité en charge du réseau.

Dans le cas d'une délégation, les contrats d'affermage ou de concession signés entre la collectivité et l'opérateur précisent le rôle, les responsabilités et les engagements de chacun.

Quel que soit le mode de gestion choisi par la collectivité, l'opérateur, gestionnaire du réseau, est responsable de la bonne exécution du service.

Dans le cas le plus fréquent de la concession, l'opérateur du réseau :

- réalise ou fait réaliser sous son contrôle les ouvrages nécessaires à la production et à la fourniture de la chaleur ;
- assure la conformité, le renouvellement et la modernisation des ouvrages ;
- conduit, entretient les ouvrages et établit des programmes prévisionnels de travaux ;
- module les énergies dans un souci économique, environnemental et de sécurité d'approvisionnement et garantit la continuité du service ;
- garantit la fourniture de chaleur nécessaire au chauffage des bâtiments et, le cas échéant, à la production de l'eau chaude sanitaire ;
- assure le comptage de l'énergie livrée en sous-station ;
- prend toutes mesures intéressant la sécurité ainsi que toutes mesures d'urgence lorsqu'elles sont nécessaires ;

- réalise chaque année un compte rendu technique et financier de l'exploitation ;
- transmet à l'autorité compétente, en fin de contrat, tous les biens et équipements.

Des contrats d'abonnement sont signés entre l'opérateur (gestionnaire du réseau) et les gestionnaires des bâtiments (ses abonnés). Ces contrats de droit privé précisent l'ensemble des conditions de fourniture de la chaleur ; ils reprennent les règles du contrat de délégation établi entre la collectivité et l'opérateur.

■ **Les gestionnaires des bâtiments raccordés : abonnés au réseau**

Dans la plupart des cas, les bâtiments raccordés à un réseau de chaleur ont un usage collectif, qu'il s'agisse d'habitat ou d'activité tertiaire. Le bâtiment est géré par un organisme dont la désignation et le rôle dépendent de son statut :

- organismes d'habitat social ou investisseurs immobiliers pour les immeubles locatifs ;
- syndicats de copropriétaires représentés le plus souvent par les syndicats ;
- entreprises propriétaires de leurs locaux ;
- services techniques des collectivités ;
- organismes de santé et de loisirs, etc.

Quel que soit le mode de gestion, l'autorité organisatrice et l'exploitant adoptent **un règlement de service** qui définit les relations entre l'exploitant et les abonnés : obligations de service, modalités de fourniture et de branchement, modalités de facturation et de paiement.

L'abonné est lié à l'exploitant par un contrat d'abonnement qui fait référence au règlement de service.

■ **Les usagers, « bénéficiaires » du service : habitants et utilisateurs des locaux chauffés**

Sauf cas particulier, les usagers bénéficiaires du service de distribution de chaleur n'ont pas de lien direct avec l'opérateur, gestionnaire du réseau, puisque l'abonnement au réseau de chaleur de leur immeuble est géré par le gestionnaire du bâtiment. Les usagers ont accès au règlement du service et autres documents régissant le service public de la chaleur.

Les relations entre l'abonné et le consommateur sont régies par le droit du logement.

L'ADÉQUATION DES RESSOURCES DU SOUS-SOL ET DES BESOINS THERMIQUES EN SURFACE

PRINCIPES DE BASE

La puissance thermique mobilisable par une ressource géothermique dépend essentiellement de deux paramètres :

- le **débit exploité** ;
 - l'**écart de température** entre la température de la ressource et la température de réinjection.
- Le principe fondamental de conception et d'exploitation d'un réseau de chaleur « basse température » utilisant l'énergie géothermale consiste à obtenir, pour chaque régime de fonctionnement, la température de retour la plus basse possible afin d'exploiter au mieux la ressource géothermale.

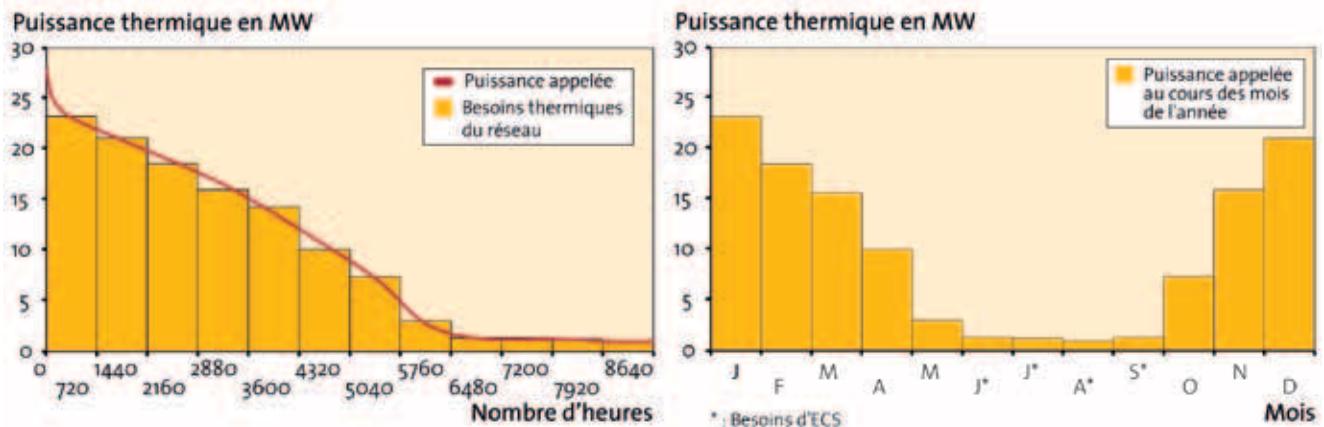
LA DÉTERMINATION DES BESOINS

Pour créer ou développer un réseau de chaleur, il est indispensable de connaître les besoins et caractéristiques des bâtiments qui seront raccordés.

La détermination des besoins des bâtiments permet de définir la **courbe de charge** du réseau (appel de puissance au cours de l'année). La puissance des installations de production d'énergie est caractérisée par la puissance maximale appelée et par la répartition dans le temps des puissances mises en œuvre en fonction des besoins réels variables dans l'année.

La **courbe monotone** de puissance est alors obtenue en organisant les puissances horaires appelées de la plus importante à la plus faible.

Courbe de charge et courbe monotone
Construction d'une courbe monotone (à gauche) à partir de la courbe de charge (à droite)



Des actions globales d'économies d'énergies sur les bâtiments raccordés au réseau permettent de diminuer la puissance maximum appelée.

La surface sous la courbe monotone de puissance correspond à l'énergie consommée annuellement.

La courbe monotone permet de dimensionner au mieux les moyens de production qui vont alimenter le réseau (optimisation du taux de couverture, de la puissance des équipements fonctionnant en base, etc.).

L'énergie la moins chère et souvent la plus respectueuse de l'environnement (biomasse, géothermie) ne peut être valorisée que par des équipements coûteux. Il est alors indispensable de donner la priorité à cette production pour satisfaire les besoins en « base ». Le complément de puissance, aussi appelé la « pointe », est produit par d'autres énergies conventionnelles du type gaz, fioul, ...

Il faut savoir qu'une installation en « base » d'une puissance équivalente à la moitié de la puissance maximale permettra de couvrir 80 % des besoins d'énergie.

LE CAS SPÉCIFIQUE DE LA GÉOTHERMIE

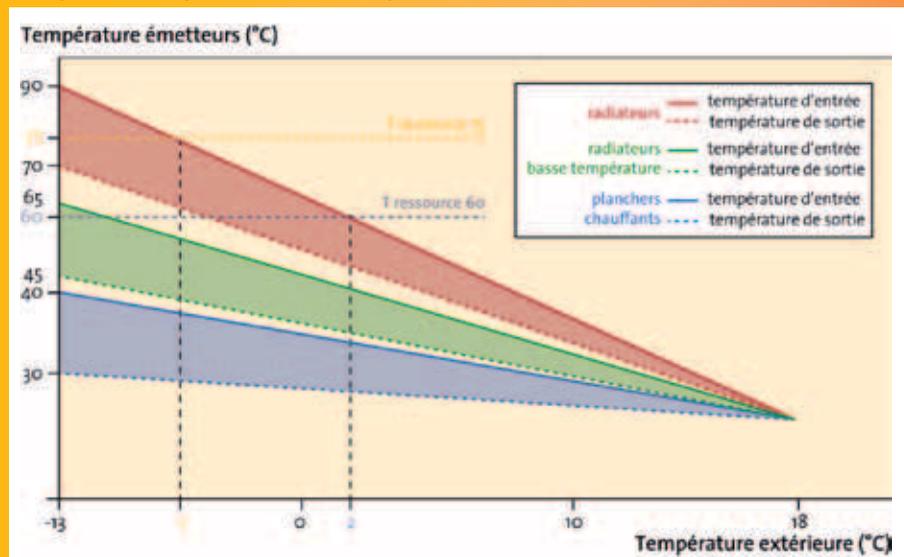
Le principe fondamental de conception et d'exploitation d'un réseau géothermique consiste à obtenir, pour chaque régime de fonctionnement, la température de retour du réseau de distribution la plus basse possible. En effet, l'énergie géothermale valorisée est directement liée au débit et à l'écart de température entre pompage et réinjection dans l'aquifère.

Il est donc important de connaître les caractéristiques des émetteurs de chaleur des bâtiments : il faudra favoriser l'utilisation d'**émetteurs basse température** (voir encadré ci-dessous).

Émetteurs et loi de régulation

Chaque émetteur de chauffage est caractérisé par une loi de régulation qui définit les températures entrée et sortie de l'eau dans les émetteurs en fonction de la température extérieure.

L'une des conditions nécessaires pour assurer la totalité du chauffage est que la température de l'eau géothermique soit supérieure à la température entrée des émetteurs. Le graphique ci-dessous montre que ces températures sont beaucoup plus élevées pour les radiateurs que pour les planchers chauffants. Plus la surface de l'émetteur est grande, plus la température d'entrée peut être faible.

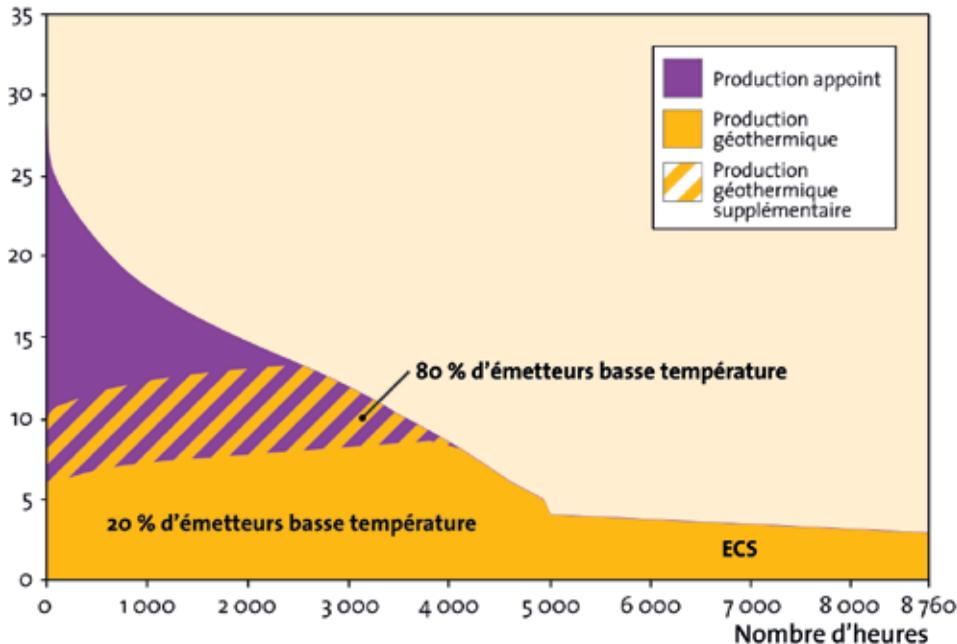


Lois d'eau typiques

Pour des bâtiments équipés d'émetteurs haute température, la géothermie n'est pas en mesure d'assurer la totalité des besoins de chauffage quand la température extérieure descend sous une certaine valeur. La mise en place de radiateurs basse température permet d'optimiser la valorisation de la géothermie. Le passage d'un régime d'eau standard de 80/60°C à un régime d'eau de 50/40°C implique une augmentation de la surface du radiateur de 50 %.

Pour les bâtiments équipés de **planchers chauffants**, la totalité des besoins peut être assurée par la géothermie sous réserve d'un débit suffisant et d'une température de la ressource supérieure à 40 °C. Plus le taux de bâtiments ayant des émetteurs basse température raccordés au réseau est important, plus la valorisation énergétique de la géothermie est importante.

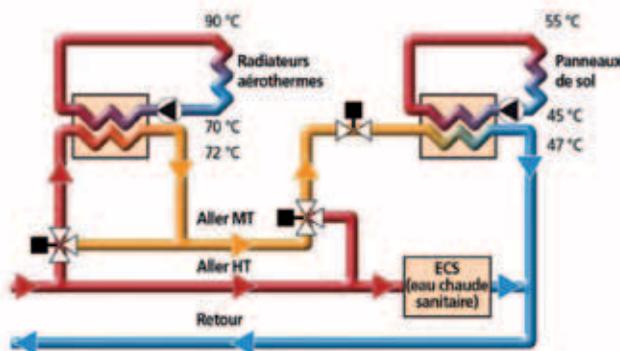
Puissance thermique en MW



Influence du type d'émetteurs sur le taux de couverture.

Le fonctionnement en cascade

La température de sortie des bâtiments équipés d'émetteurs haute température sera toujours supérieure à celle d'entrée dans des bâtiments équipés de planchers chauffants. L'optimisation du réseau consiste donc à valoriser plus d'énergie géothermique en faisant des « cascades » entre les retours des bâtiments avec radiateurs et le « départ » des bâtiments avec émetteurs basse température.



Réseau tri-tubes

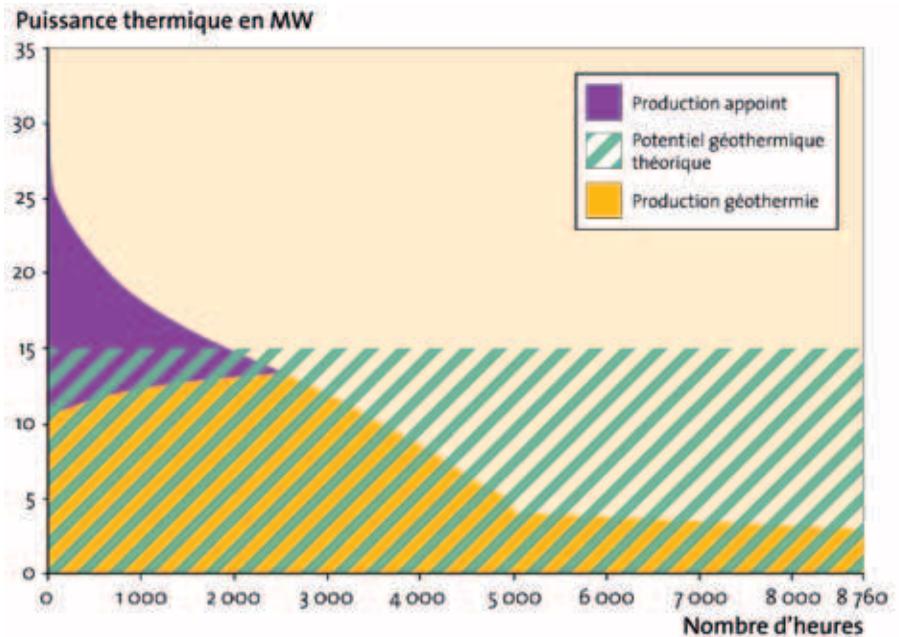
Le « retour » de l'immeuble chauffé par des radiateurs aérothermes (en orange) présente une température suffisante pour être utilisé en « cascade » comme « départ » dans le bâtiment suivant chauffé par des panneaux de sol. Avec le tube retour, les tubes moyenne température (MT) et haute température (HT) constituent un tri-tubes.

Le taux de valorisation et le taux de couverture

Le **taux de couverture** correspond au rapport de l'énergie géothermique valorisée sur l'énergie totale fournie au réseau.

Le **taux de valorisation** quant à lui correspond au rapport de l'énergie géothermique valorisée sur le potentiel théorique.

Taux de couverture et taux de valorisation



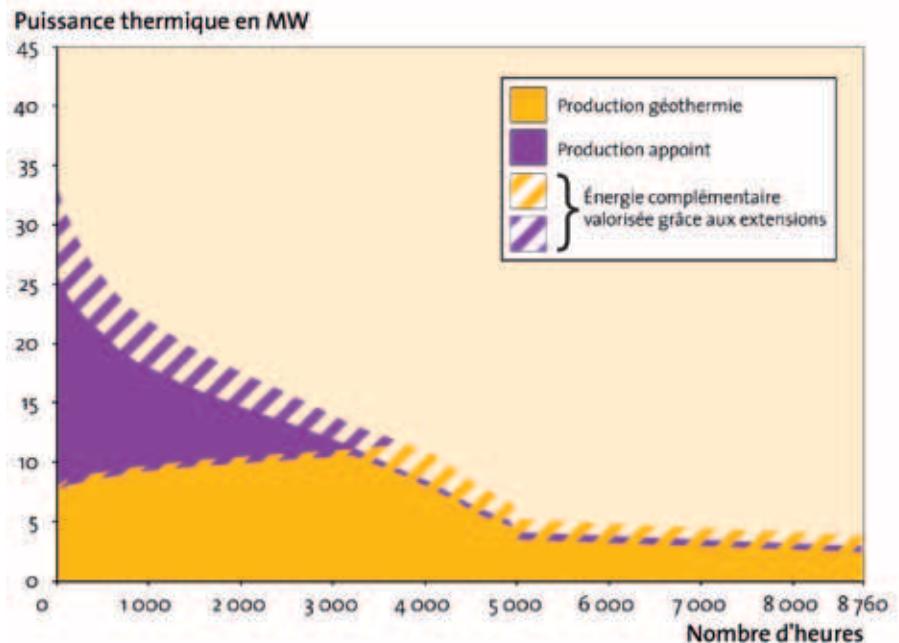
Une opération ayant un taux de couverture trop important (supérieur à 85 %) est une opération avec un taux de valorisation faible.

Pour améliorer le taux de valorisation, il faut privilégier les extensions de réseau.

La fourniture d'eau chaude sanitaire (ECS) par la production géothermique permet également d'augmenter le taux de valorisation.

Impact des extensions de réseau

Le taux de valorisation peut être augmenté avec l'extension des réseaux de chaleur



Le bilan énergétique et environnemental d'une opération type

Le bilan énergétique d'une opération de géothermie dépend du taux de couverture et de l'électricité nécessaire au pompage et à la distribution de chaleur. L'électricité de pompage dépend quant à elle du débit exploité et de la transmissivité du réservoir.

Le bilan environnemental est déterminé à partir du bilan énergétique en utilisant les équivalences d'émissions de CO₂ des énergies conventionnelles.

Le contenu en CO₂ de l'électricité varie fortement en fonction du mode de production (nucléaire, hydraulique, charbon, fioul, ...), de l'usage (éclairage, chauffage,...) et donc du moment où est utilisée l'électricité. Le contenu CO₂ retenu par l'ADEME et EDF pour un usage chauffage et résidentiel est de 180 g/kWh. Concernant le contenu CO₂ du gaz naturel, énergie retenue comme appoint, il est de 206 g/kWh*.

Les informations ci-dessous donnent un **ordre de grandeur de bilan énergétique et environnemental d'une opération type du Bassin parisien** ainsi que l'évolution de ce bilan en fonction du débit pompé.

Les caractéristiques de cette opération type sont les suivantes :

Température ressource	75 °C
Puissance appelée sur le réseau	30 MW
Besoins d'énergie du réseau	76 700 MWh
Température de retour par – 7 °C	60 °C
Mixte énergétique	Géothermie + appoint gaz

Exemple de bilan énergétique et environnemental d'une opération type du Bassin parisien

Débit pompé	énergie géothermique fournie	taux de couverture	énergie électrique consommée	rapport énergie géothermique fournie sur énergie électrique consommée	énergie substituée	tonnes de CO ₂ évitées (système géothermique avec appoint gaz)
m ³ /h	MWh	%	MWh		tep	tonnes
100	28 651	37	1 275	22,5	2 866	6 635
150	36 545	48	1 650	22,1	3 655	8 459
200	43 391	57	1 979	21,9	4 340	10 040
250	49 260	64	2 266	21,7	4 927	11 395
300	54 165	71	2 512	21,6	5 418	12 525

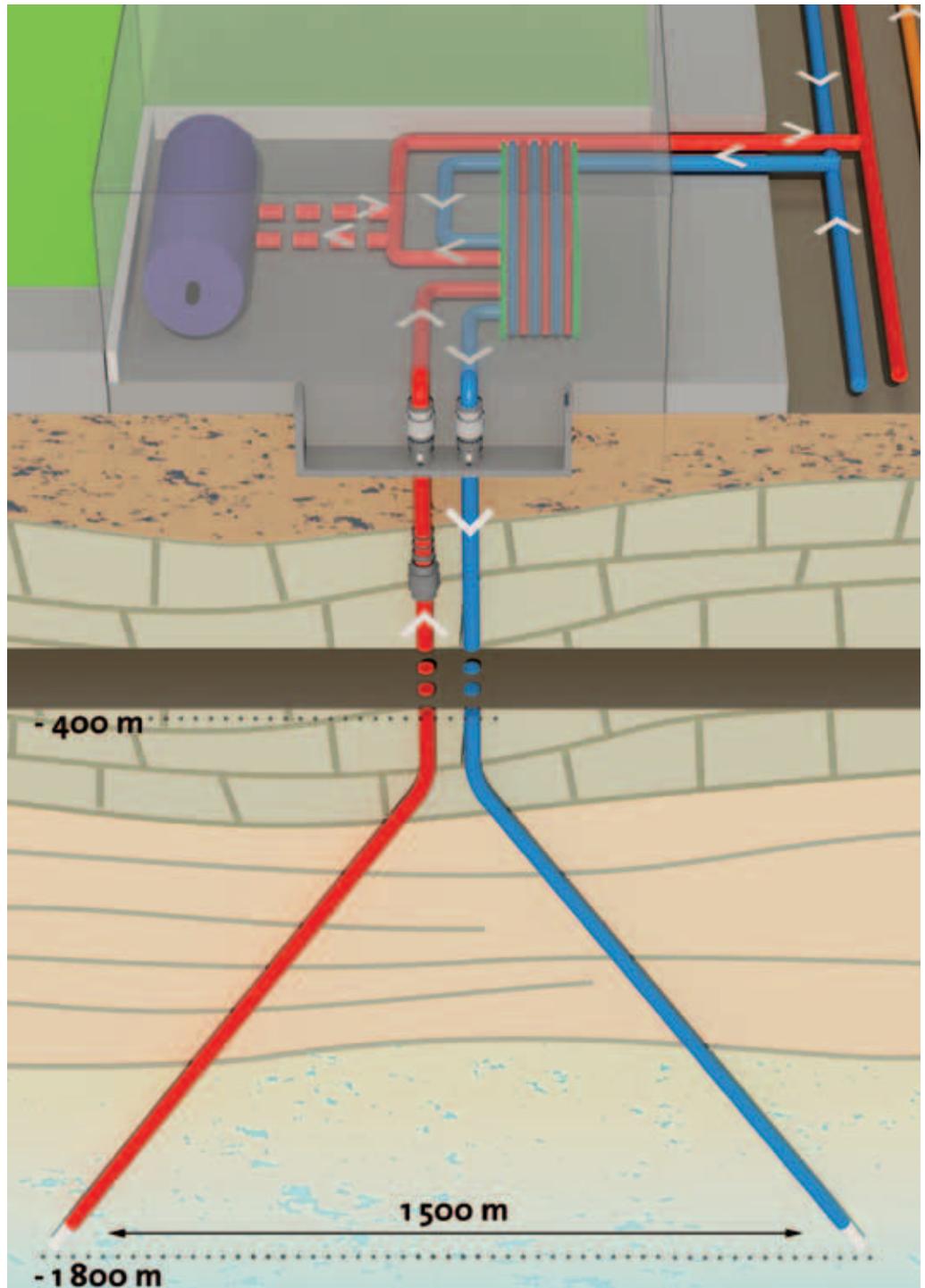
* Source : MEDD, questionnaire de déclaration annuelle des émissions polluantes 2005 des installations classées soumises à autorisation.

LA PRODUCTION DE CHALEUR OU L'ALIMENTATION DU RÉSEAU

On distingue généralement un circuit dit « géothermal » qui véhicule l'eau extraite du sous-sol et un circuit dit « géothermique » qui distribue la chaleur en surface après échange.

Circuit géothermal et circuit géothermique

Le circuit géothermal véhicule l'eau extraite du sous-sol jusqu'à la centrale géothermique, à partir de laquelle le circuit géothermique distribue la chaleur en surface après échange.



LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU CIRCUIT GÉOTHERMAL

Les principales caractéristiques de la ressource géothermale

Une opération de géothermie sur aquifères profonds consiste à exploiter un réservoir pour en extraire un fluide géothermal chaud.

Les principaux paramètres hydrauliques et thermiques permettant de caractériser la ressource sont présentés ci-dessous :

Porosité	C'est une caractéristique intrinsèque des terrains. Elle est égale au rapport du volume des interstices généralement remplis d'eau sur le volume total de la roche. Elle renseigne sur le volume d'eau qu'est susceptible de contenir une roche, mais ne permet pas de connaître le volume qu'elle pourra libérer. La porosité peut être d'interstice (sable, grès, ...) ou de fissure (calcaires, granite, ...).
Perméabilité	C'est une notion dynamique qui implique la présence d'eau. Elle représente l'aptitude que possède un milieu à se laisser traverser par un fluide sous l'effet d'une différence de pression. Porosité et perméabilité sont donc deux notions bien distinctes : la porosité est une caractéristique intrinsèque à la roche, tandis que la perméabilité suppose la présence et la circulation d'eau. Une roche peut être poreuse mais imperméable. Dans certains réservoirs souvent granitiques ou calcaires, la perméabilité est due à la présence d'un réseau interconnecté de fissures dans la roche-réservoir.
Transmissivité	La transmissivité, égale au produit de la hauteur productrice par la perméabilité moyenne sur cette hauteur, donne une indication sur la quantité d'eau qui pourra être pompée et sur le rabattement induit. C'est le principal paramètre recherché pour caractériser les performances de l'aquifère.
Pression statique du gisement	La pression statique du gisement correspond à la pression de l'aquifère dans les conditions naturelles, sans pompage, ni réinjection. La pression mesurée en tête de puits est alors fonction de l'altitude, de la densité et de la température du fluide. Si cette pression est supérieure à la pression atmosphérique, l'eau jaillit naturellement, le puits est alors dit artésien.
Température	La température est fonction du gradient de température local. La température en tête de puits est toujours légèrement inférieure à celle du réservoir, selon la profondeur et le débit exploité.

Le fluide géothermal contient en proportion variable, des sels et des gaz dissous. La composition chimique du fluide est parfois traduite en équivalent NaCl, exprimé en g/l.

La mise en évidence de la ressource géothermale

Comme toute ressource minière, il est nécessaire, avant d'entamer un processus d'exploitation, de localiser et d'évaluer de manière aussi précise que possible les caractéristiques de la ressource que l'on envisage d'exploiter.

L'évaluation des ressources passe par une phase de reconnaissance géologique. Celle-ci doit débiter par l'analyse des données existantes disponibles obtenues lors des forages déjà réalisés dans le cadre de recherches pétrolières, hydrogéologiques ou géothermiques (coupes géologiques, essais de puits, mesures de températures, ...).

La connaissance du sous-sol découle des nombreux forages et campagnes géophysiques destinés à la recherche d'eau et à l'exploration pétrolière.

La Banque des données du sous-sol (BSS) gérée par le BRGM constitue la base de données nationale des ouvrages souterrains déclarés sur le territoire français. Elle regroupe les informations techniques acquises lors des forages et collectées auprès des foreurs et des maîtres d'ouvrage. En effet, la législation française permet de rendre publics les renseignements géologiques issus des forages de plus de 10 m soumis à déclaration administrative.

Cependant, pour aller plus loin dans la connaissance du sous-sol et notamment dans le cadre d'une étude de faisabilité, il est nécessaire de faire appel à un bureau d'études spécialisé.

Les méthodes d'exploitation de l'aquifère profond

L'accès à la ressource nécessite la réalisation de forages. Les forages géothermiques diffèrent peu, à première vue, des forages pétroliers à profondeur équivalente. On peut cependant mentionner quelques contraintes spécifiques à la géothermie :

- l'importance des débits (jusqu'à 300 m³/h) qui sont supérieurs aux débits pétroliers ;
- les contraintes liées à l'implantation du site en surface, la plupart des projets se faisant en zone urbaine dense.

La **technique du doublet** – et ce pour des raisons environnementales – tend à se généraliser pour les nouvelles opérations de géothermie sur aquifères profonds : cette technique consiste à réaliser un couple de forages, un pour l'extraction de la ressource (le puits de production) et un pour la réinjection du fluide (le puits de réinjection). Ce système de doublet permet de maintenir la pression dans le réservoir et d'éviter les effets négatifs que peut avoir l'eau rejetée sur l'environnement (eau chargée en sels, température incompatible, ...).

Dans le cas du doublet, les **impacts des forages au niveau du réservoir** doivent être éloignés d'une certaine distance afin que l'eau réinjectée (plus froide) ne vienne pas perturber le niveau de température au puits de production. La distance optimale entre les puits de production et de réinjection au niveau du réservoir est fonction des caractéristiques hydrodynamiques du réservoir et des paramètres de l'exploitation (débit, durée). L'espacement entre les deux puits au toit du réservoir pour les opérations au Dogger du Bassin parisien est de l'ordre du kilomètre et demi.

Pour limiter l'emprise en surface de la mise en place d'un doublet, il est tout à fait envisageable, et fréquent, de réaliser les deux forages à partir d'une même plateforme. Dans un tel cas, les puits sont espacés d'une dizaine de mètres en surface et **déviés** de façon à obtenir la distance nécessaire au toit du réservoir. Choisir de réaliser des forages verticaux ou déviés va dépendre de paramètres techniques et économiques divers.

* La consultation de la Banque des données du sous-sol (BSS) peut se faire :

- sur le site InfoTerre (<http://infoterre.brgm.fr>)

- dans chaque Service Géologique Régional du BRGM (voir coordonnées sur www.brgm.fr)

Le choix de l'implantation des ouvrages nécessite des études approfondies pour connaître avec précision les paramètres et le comportement futur de l'aquifère. Cette étude permet de préciser les conditions d'exploitation prévues par le projet et le comportement à long terme du doublet.

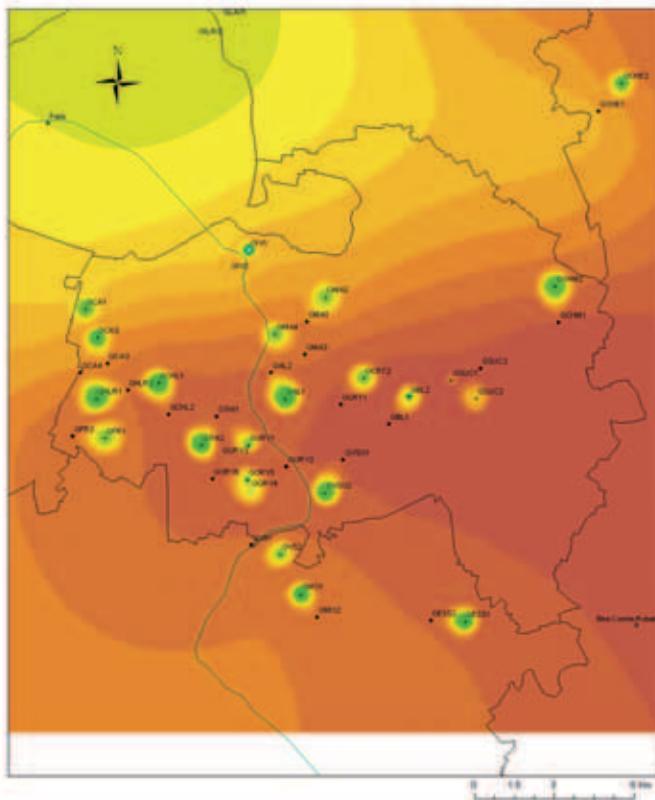
En effet, la réinjection du fluide refroidi après le passage dans l'échangeur crée une bulle froide qui s'agrandit d'années en années vers le forage de production, plus ou moins directement selon la direction de l'écoulement naturel de la nappe et l'influence des autres ouvrages alentours. Le temps d'arrivée de la première particule d'eau froide au forage de production détermine le **temps de percée thermique**. À partir de celui-ci, la durée de vie théorique de l'exploitation coïncide avec la date correspondant à la chute perceptible de température de production. La durée de vie pratique de l'opération dépend de la chute de température admissible pour la viabilité de l'exploitation. Cette chute de température est généralement entre 3 °C à 4 °C et le dimensionnement de l'opération doit permettre une durée d'exploitation de l'ordre de 30 ans.

Pour optimiser le dimensionnement de l'opération, plusieurs paramètres sont à prendre en compte :

- l'espacement entre les puits de production et d'injection (au niveau du réservoir) ;
- les caractéristiques hydrauliques et thermiques du réservoir ;
- le débit exploité en surface et le temps de fonctionnement de l'installation.

L'implantation des ouvrages doit également tenir compte des installations voisines préexistantes risquant d'être affectées notamment par une baisse rapide de la température dans les puits. Cette problématique est de plus en plus importante avec la multiplication des opérations.

La figure ci-dessous présente le résultat des simulations de l'ensemble des exploitations des doublets à l'échelle du Val-de-Marne.



Champ thermique

Simulation du champ thermique à l'échelle du département du Val-de-Marne, fin 2010

*rouge foncé : > 80 °C
vert : < 60 °C*

Le cas spécifique de la réhabilitation d'ouvrages

Certaines opérations, particulièrement dans le Bassin parisien, ont été construites il y a plus de trente ans maintenant et accusent un vieillissement au niveau des puits notamment du puits producteur. Des opérations de réhabilitations sont envisagées pour continuer l'exploitation de la ressource. Cela fait apparaître le développement de nouvelles configurations d'exploitation.

Les options disponibles pour réhabiliter les opérations géothermiques au Dogger varient en fonction du diagnostic de l'état des puits et des anomalies constatées :

- un **curage des puits** pourra s'imposer lorsque l'encrassement de surface des tubages entraînera des pertes de charge pénalisantes pour l'exploitation sans que l'état général de ces tubages soit remis en cause ;
- un **rechemisage total ou partiel** pourra être mis en œuvre lorsque le mauvais état du tubage ou la diminution notable de son épaisseur ne permettra plus une exploitation dans des conditions de sécurité suffisantes (perte d'étanchéité, trop faible épaisseur résiduelle de matière pouvant mener à des risques d'écrasement du tubage, dégradation générale trop importante de l'acier) ;
- lorsqu'une remise en état n'est pas envisageable, un **abandon des puits** (abandon qui peut être définitif ou provisoire dans l'attente d'une solution future) devra être envisagé avec pour objectif la mise en sécurité de l'ouvrage et de son environnement ;
- la réalisation de **forages de remplacement** pourra également être envisagée, soit par la création d'un nouveau doublet, soit par la création d'un triplet (un forage neuf venant alors compléter un couple de forages anciens réhabilités).

Outre les conséquences financières que le choix aura sur le projet, les conséquences sur la ressource de la modification des conditions d'exploitation devront donc être évaluées. Il s'agira de mesurer l'impact de la nouvelle réalisation en tenant compte des conditions de température et de charge hydraulique laissées par l'ancien doublet. Les différents scénarios nouveau doublet/triplet seront comparés sur la base du gain énergétique, de l'emprise de la perturbation thermique sur la ressource et de leurs impacts sur les projets voisins (actuels ou potentiels). Cette comparaison permettra de choisir la nouvelle configuration respectant au mieux la ressource et les contraintes d'exploitation et restreignant le moins les développements futurs de la géothermie dans le secteur considéré.

Les conditions réglementaires d'accès à la ressource

La chaleur prélevée dans le sous-sol est considérée comme une ressource minière, et de ce fait, elle est soumise aux dispositions du **code minier** qui a pour objets essentiels :

- d'optimiser l'exploitation des ressources minières ;
- de minimiser les risques liés à l'exploitation, en particulier ceux ayant une incidence sur l'environnement ;
- de garantir la santé et la sécurité des travailleurs.

Pour exploiter une opération de géothermie, il est nécessaire d'obtenir :

- une autorisation de recherche ciblée sur un gîte géothermique ;
- une autorisation de travaux (pour la réalisation des puits) ;
- une autorisation d'exploitation.

La réglementation distingue deux types de gîtes géothermiques, les gîtes « haute température » dont la température est supérieure à 150 °C, et les gîtes « basse température » pour les températures inférieures à 150 °C. Les procédures pour les gîtes « haute température » ne sont pas abordées dans cet ouvrage.

Le tableau ci-dessous décrit la procédure de **demande des permis de recherche et d'exploitation** (voir décret n° 78-498 du 28 mars 1978) pour les gîtes basse température.

Autorité instructrice du dossier	Préfet du département
Durée de l'enquête publique	15 jours
Consultation des autorités locales (municipalités, ...)	oui
Délivrance des permis	arrêté préfectoral après consultation des services de l'État
Durée des permis :	
– recherche	3 ans maxi
– exploitation	30 ans maxi

Notons qu'il existe également, pour la géothermie basse température, des simplifications réglementaires pour les opérations dites de « **minime importance** ». Cela concerne tout particulièrement les opérations avec PAC sur aquifères superficiels ou sur champs de sondes.

Les éléments à fournir pour le dépôt des permis de recherche et d'exploitation sont notamment :

- capacité financière et technique du demandeur ;
- périmètre et durée du permis souhaités ;
- programme des travaux et nature de l'utilisation de la chaleur ;
- étude d'impact : description des risques environnementaux, des impacts du projet et des mesures à prendre pour remédier aux effets négatifs.

L'ensemble des éléments à fournir est précisé dans le décret n°78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie.

La **procédure d'autorisation de travaux** est identique quelle que soit la catégorie de gîte (voir décret n° 2006-649 du 2 juin 2006). Le tableau précise la demande d'autorisation de travaux.

Autorité instructrice du dossier	Préfet du département
Durée de l'enquête publique	1 mois
Consultation des autorités locales (municipalités..)	oui
Délivrance des permis	Préfet du département

Le dossier de demande d'autorisation de forage doit notamment contenir les éléments suivants (pour plus de précisions voir le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006) :

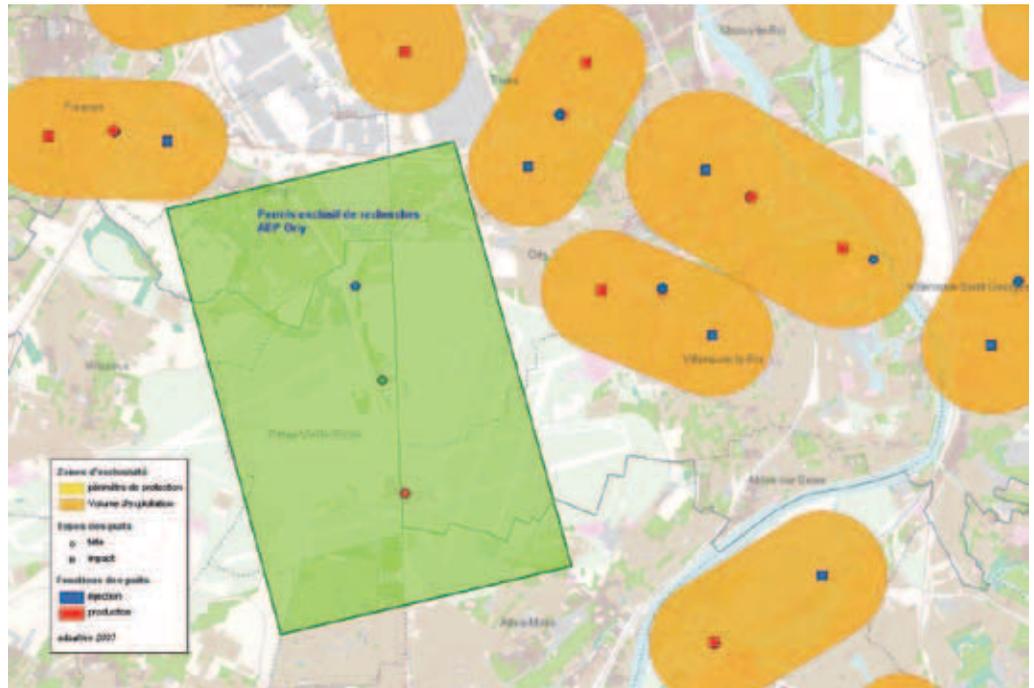
- programme de forage détaillé ;
- description des risques environnementaux et des impacts lors du forage et mesures de protection prises ;
- évaluation des risques pour les personnes réalisant le forage et mesures prises pour les atténuer ou les supprimer ;
- description des mesures prises en fin d'exploitation. Le demandeur doit être à même de définir comment il bouchera les puits en fin d'exploitation et réhabilitera le site. Le coût de cette opération devant être compatible avec les capacités financières du demandeur.

Pour mener à leur terme l'ensemble de ces procédures, il faut compter entre 6 mois et un an.

À noter qu'il n'y a pas de redevance minière à payer pour la géothermie (contrairement aux autres substances minières).

Permis de recherche

Exemple de représentation des zones de permis de recherche et d'exploitation
© DRIEE-IF



Les principaux équipements d'une installation géothermique

■ Les systèmes de pompage

En fonction des conditions hydrogéologiques, l'eau du réservoir peut jaillir naturellement si la pression en tête de puits est supérieure à la pression atmosphérique (**artésianisme**). Si la pression en tête de puits est insuffisante ou si l'on veut utiliser un maximum de débit, il devient indispensable de mettre en place un dispositif de pompage. Compte tenu du phénomène de **rabattement*** de la nappe, la partie hydraulique de la pompe doit toujours être placée assez bas dans le puits, sous peine de risquer son dénoyage. Il n'en est pas de même de l'élément moteur dont la position est caractéristique du type de pompe :

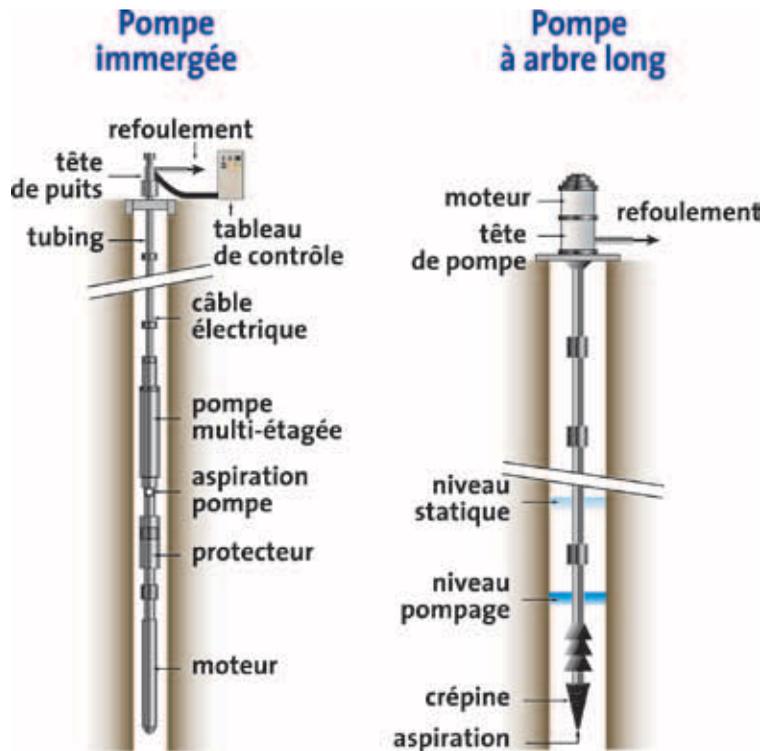
– **les pompes immergées**, issues des techniques pétrolières, sont actuellement les plus utilisées en géothermie. Le moteur électrique d'entraînement est immergé sous la partie hydraulique. Ces pompes sont suspendues à une colonne d'exhaure qui peut atteindre 400 m pour des forages profonds et fournir des débits supérieurs à 300 m³/h. Elles sont largement utilisées dans les opérations sur le Dogger du Bassin parisien. Le moteur électrique est alimenté par un câble fixé le long de la colonne d'exhaure depuis la surface.

– **les pompes à arbre long** se caractérisent par leur partie hydraulique entraînée par un moteur électrique placé en surface. La jonction se fait par un arbre dont la longueur ne peut guère dépasser 140 m.

Dans le cas d'un doublet, une pompe de réinjection située en surface est généralement nécessaire. Placée après l'échangeur, elle communique au fluide géothermique la pres-

* Le phénomène de rabattement consiste en l'abaissement du niveau de la nappe lorsque l'on y pratique un pompage.

sion nécessaire pour le refouler dans l'aquifère exploité. Dans les aquifères profonds et pour des débits importants la pression de réinjection peut atteindre 30 à 50 bars.



Systèmes de pompage
On distingue les pompes immergées et les pompes à arbre long

■ Le dispositif de lutte contre les phénomènes de corrosion des forages

Pour les forages tubés en acier (cas général), un dispositif de lutte contre les phénomènes de corrosion dépôt a été mis au point. Il équipe la majorité des doublets exploitant le Dogger du Bassin parisien. Ce système est composé des éléments suivants :

- un tube d'injection d'inhibiteurs de corrosion descendu jusqu'à la base du tubage du puits de production. Ce tube est suspendu en tête du puits producteur par un dispositif prévu à cet effet ;
- une station d'injection d'inhibiteurs permettant de doser le produit injecté en fonction du débit d'exploitation de l'eau géothermale ;
- le choix d'un produit inhibiteur de corrosion (amine grasse dont le dépôt sur les tubages du puits de production puis de celui de réinjection permet de réaliser un film protecteur sur l'acier) ; la sélection du produit se fait site par site après des essais de longue durée.

■ Les têtes de puits

À l'issue des travaux de forage, les différents organes de sécurité nécessaires à la réalisation des puits sont enlevés et remplacés par une tête de puits définitive faisant jonction entre les parties des tubages en sous-sol et les conduites de surface acheminant le fluide géothermal vers ou en provenance de la centrale. Les têtes de puits devront être protégées pour limiter leur exposition aux risques de détériorations naturelles (protection contre les intempéries, les écoulements de surface, la corrosion) ou accidentelles (restriction d'accès au site). Elles doivent d'autre part rester accessibles à des engins lourds pour des interventions ponctuelles ou périodiques de contrôle, de maintenance, d'entretien des puits ou pour réaliser les travaux d'abandon en fin de vie des ouvrages. Une surface d'au moins 1 000 m² devra être conservée autour de chaque tête de puits pour permettre ces différentes activités.



■ Les systèmes d'échange

Un échangeur est généralement placé entre le circuit géothermique et le circuit de distribution de chaleur (circuit géothermique). Cet échangeur est indispensable dans le cas d'une eau corrosive. La chaleur géothermique peut ensuite être utilisée directement.

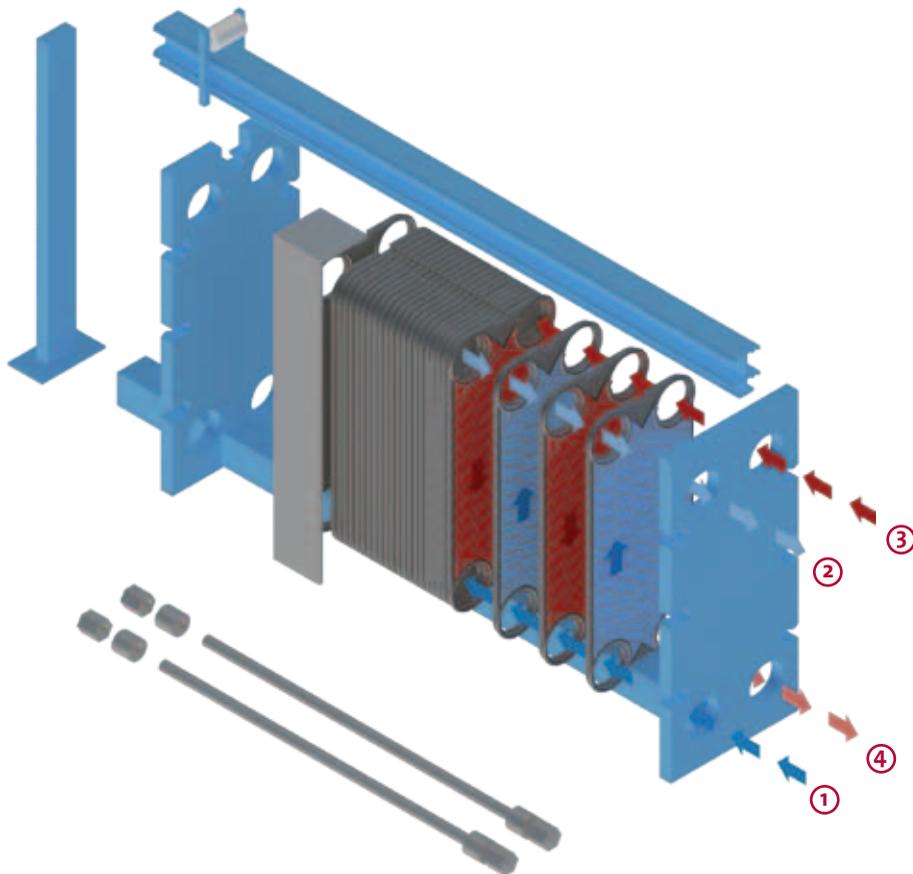
La performance d'un échangeur est caractérisée par l'écart de température entre l'entrée de la boucle géothermale et la sortie du circuit de distribution géothermique. Cet écart appelé « pincement » doit être aussi faible que possible (de l'ordre de 2 °C). La maintenance de cet équipement doit être aisée en raison des risques d'encrassement.

Les échangeurs peuvent être de types différents : échangeurs multitubulaires, échangeurs spirales, échangeurs à plaques.

Cependant, les meilleures performances sont obtenues avec des échangeurs à plaques, comme illustré sur la figure ci-dessous. Les matériaux utilisés dans les échangeurs doivent pouvoir résister à la corrosivité inhérente à la majorité des fluides géothermaux. Ils peuvent être constitués en acier revêtu, en acier inoxydable ou en titane. Ce dernier matériau s'est révélé particulièrement adapté aux exigences d'exploitation du fluide du Dogger du Bassin parisien particulièrement chargé en éléments corrosifs vis-à-vis des métaux ferreux.

Tête de puits

Tête du puits de production, la tête du puits de réinjection est située derrière © Antea



Echangeur à plaques

Ce type d'échangeurs offre une surface d'échange importante entre le circuit géothermique et le circuit géothermique.

- 1 Entrée circuit géothermique
- 2 Sortie circuit géothermique
- 3 Entrée circuit géothermique
- 4 Sortie circuit géothermique

L'UTILISATION DE POMPES À CHALEUR

Pour augmenter les performances d'un réseau de chaleur, il peut être envisagé d'associer au réseau une pompe à chaleur (PAC) qui permettra d'exploiter au maximum l'énergie géothermale disponible, en abaissant la température de retour.

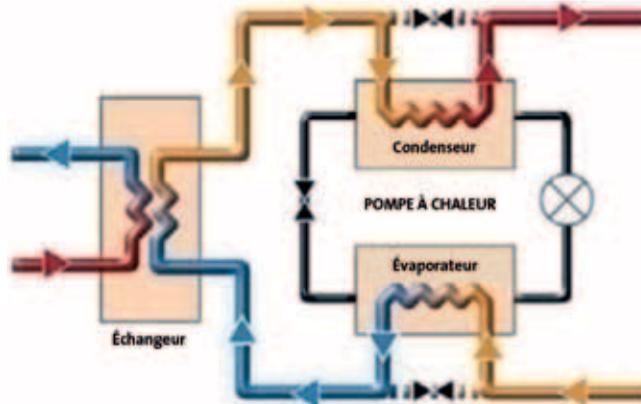
L'utilisation de la pompe à chaleur permet également d'exploiter des ressources dont les températures seraient trop faibles pour pouvoir être utilisées directement mais suffisamment élevées pour être utilisées avec une pompe à chaleur de manière efficace pour alimenter le réseau de chaleur. Plusieurs configurations existent pour l'insertion de la pompe à chaleur dans le réseau. Elles dépendent de l'emplacement du condenseur de la pompe à chaleur.



Pompe à chaleur
de plus de 13 m de long destinée au chauffage de grands ensembles (© Friotherm)

■ Condenseur en série avec l'échangeur

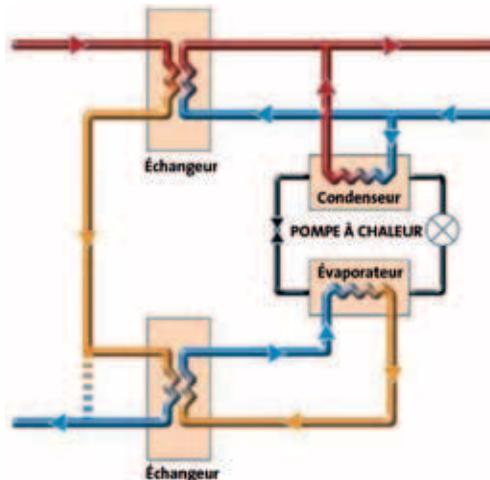
L'évaporateur de la PAC refroidit le retour du circuit géothermique. Les calories prélevées sont transférées au niveau du condenseur qui augmente ainsi la température de départ du circuit géothermique.



Condenseur en série
avec l'échangeur

■ Condenseur en parallèle avec l'échangeur

L'évaporateur de la PAC refroidit le retour géothermal après échangeur et transfère les calories prélevées sur un circuit dérivé du retour du circuit géothermique. Cette solution consiste en fait à augmenter artificiellement le débit et donc, la puissance de l'installation.



Condenseur en parallèle
avec l'échangeur

L'UTILISATION D'APPOINTS

Différents montages peuvent être envisagés pour l'appoint, qui peut également servir en système de secours :

Appoint centralisé	L'appoint est installé dans la centrale géothermique. C'est la solution la mieux adaptée à la conduite d'un réseau de chaleur géothermique.
Appoint décentralisé	Cette solution consiste à conserver les chaufferies des ensembles existants raccordés au réseau. Le réseau de chaleur délivre en « base » de l'énergie géothermique et chaque chaufferie des abonnés assure son appoint et son secours. Dans ce cas de figure, l'investissement est limité, mais la gestion optimale du réseau est plus difficile. Il est préférable que ces chaufferies soient gérées par un seul exploitant, celui du réseau.
Appoint semi-centralisé	Si certains sites présentent plusieurs chaufferies préexistantes, en général surpuissantes pour les ensembles qu'elles desservent, alors elles peuvent servir d'appoint sur le réseau. Certaines peuvent également se déconnecter du réseau si nécessaire et assurer les besoins des bâtiments auxquels elles sont associées.

LE MONTAGE D'UN PROJET DE RÉSEAU DE CHALEUR AVEC GÉOTHERMIE SUR AQUIFÈRES PROFONDS

LES ACTEURS D'UNE OPÉRATION DE GÉOTHERMIE PROFONDE

De nombreux acteurs interviennent aux différentes étapes clés de la mise en place d'une centrale géothermique pour alimenter un réseau de chaleur. Ces derniers sont présentés dans les paragraphes ci-dessous. Les étapes de la création du réseau de chaleur en lui-même ne sont pas explicitées. Cependant, il faudra prendre garde aux interactions entre la mise en place d'un réseau de chaleur et la création de la centrale géothermique.

La maîtrise d'ouvrage

Le maître d'ouvrage est la personne (personne morale, privée ou publique) pour le compte de laquelle sont réalisés les travaux de construction. Il en est le commanditaire et celui qui en supporte le coût financier (avec des partenaires financiers ou non).

Dans le cas d'une gestion directe ou d'un affermage, la collectivité assure la maîtrise d'ouvrage. Dans le cas d'une concession ce sera le délégataire.

L'assistance à maîtrise d'ouvrage

L'assistant à la maîtrise d'ouvrage (AMO) est un professionnel du management des projets géothermiques. Il est dans une position techniquement neutre. Il a pour mission de défendre les intérêts du maître d'ouvrage, c'est-à-dire la réalisation, dans le respect des délais, d'un ouvrage sûr, pérenne et au meilleur coût.

Les tâches de l'AMO portent sur l'accompagnement de la mise en place des différents contrats administratifs, techniques, financiers et de couverture du risque spécifique à la géothermie.

Ingénierie et maîtrise d'œuvre surface et sous-sol

Les missions de la maîtrise d'œuvre intègrent les étapes allant de la conception technique des projets au suivi de la réalisation des travaux et incluent parfois le suivi d'exploitation. Les structures ou bureaux d'études assurant ces missions dans chacun des domaines, surface et sous-sol, peuvent être les mêmes ou différents selon les étapes.

La particularité d'une opération de géothermie est qu'elle nécessite dans ses différentes phases, depuis la conception jusqu'à la réalisation, des compétences à la fois de spécialistes « sous-sol » et de thermiciens de « surface », qui doivent tenir compte de la spécificité d'une ressource basse température. Ces deux secteurs doivent pouvoir travailler en parfaite coordination.

Les sociétés d'ingénierie « sous-sol » réalisent les études géologiques préalables, conçoivent et assurent la maîtrise d'œuvre des forages et la mise en place des équipements afférents (boucle géothermale).

Les sociétés d'ingénierie « surface », en général des bureaux d'études thermiques, réalisent la conception et la maîtrise d'œuvre des installations de distribution de l'énergie géothermique jusqu'aux utilisateurs (centrale géothermique, réseaux de chaleur, systèmes d'appoint et/ou de secours, sous-stations, ...).

Sur la base des études préalables, le maître d'œuvre a la responsabilité de tout ou partie des tâches suivantes :

- rédaction des éléments techniques des appels d'offre de sélection des entreprises ;
- participation à la sélection des entreprises ;
- contrôle de réalisation ;
- rédaction des documents liés aux ouvrages.

Il faut noter que la nature et l'étendue des tâches du maître d'œuvre dépendent également du type de contrat passé entre le maître d'ouvrage et les entreprises (principalement avec l'entreprise de forage).

Les entreprises

Elles sont de trois types :

■ Les sociétés de services et l'entreprise de forage

Elles concernent plus particulièrement les travaux de sous-sol. Elles sont en général très spécifiques et d'une haute technicité (forages, déviations, boues, diagraphies, essais, ...).

L'entreprise de forage met à la disposition du maître d'ouvrage et/ou du maître d'œuvre un ensemble de matériels et d'équipements dont les caractéristiques doivent permettre de mener à bonne fin les opérations de forage d'un doublet géothermique. Les prestations de l'entreprise incluent le transport du matériel jusqu'au site, la réalisation des puits, leur mise en production, le repli de l'ensemble du matériel en fin de chantier à réception des ouvrages. Elle doit également fournir le personnel spécialisé nécessaire en nombre suffisant pour permettre le fonctionnement de ce matériel 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

■ Les fournisseurs d'équipements

Les fournisseurs sont sollicités pour les équipements se rapportant aux forages (tubages, outils, têtes de puits, pompes, variateurs de vitesse, ...), aux réseaux (canalisations, vannes, calorifugeages) et au matériel thermique (échangeurs, pompes à chaleur, régulations, instrumentation, ...).

■ Les entreprises du bâtiment et des travaux publics (BTP)

Les entreprises de BTP sont requises pour l'exécution de la plateforme de forage, des aménagements autour de la tête de puits, des bâtiments abritant la station d'échange et de pompage, ainsi que pour la pose des différents réseaux.

LE DÉROULEMENT D'UNE OPÉRATION

Avant de réaliser les travaux, plusieurs études sont à réaliser.

L'étude de pré faisabilité

L'état des lieux est une phase indispensable avant de s'engager vers un choix énergétique.

Le but de cette première démarche est de répondre à la question : une solution géothermique est-elle envisageable et opportune ? Si oui, il conviendra alors de définir les modalités de la poursuite des investigations.

La démarche peut s'articuler de la façon suivante :

- cerner en toute première approximation **la nature des ressources** au lieu considéré, notamment en consultant les inventaires de ressources géothermales, réalisés au niveau d'une entité géologique ou d'une entité administrative, région ou département ;
- réaliser un rapide examen **des besoins de chaleur**, d'un point de vue géographique (définition d'ensembles à équiper ou périmètre d'investigation), qualitatif (type d'émetteur, existence d'un réseau, localisation, ...), et quantitatif (ordre de grandeur des consommations et des niveaux de puissance).

La confrontation des ressources et des besoins permettra d'orienter la décision qui définira :

- le type de ressource exploitable et la possibilité de la mettre en œuvre sur le site (emprise du chantier de forage) ;
- les utilisateurs de chaleur que la géothermie peut desservir ;
- un ordre de grandeur de l'investissement à réaliser et des coûts d'exploitation ;
- une évaluation économique sommaire par comparaison avec les énergies traditionnelles.

Pour les réseaux de chaleur existants, un « **schéma directeur** » permettra de déterminer les potentiels de développement des moyens de production de chaleur et les opportunités d'extension du réseau. Ce type d'étude est préconisé par l'ADEME.



Chantier de forage en milieu urbain

Forage pour le troisième puits de Sucy-en-Brie (© Elyo)

L'étude de faisabilité

Si la conclusion de l'étape précédente est favorable, il convient alors d'examiner plus en détail les conditions techniques, économiques, mais aussi juridiques et financières, selon lesquelles un projet de géothermie pourrait se réaliser : c'est l'objet de **l'étude de faisabilité**.

Le plan détaillé d'une étude de faisabilité sous-sol s'articule comme suit :

1	Renseignements sur le commanditaire de l'étude
2	Contexte général
3	Définition des principales caractéristiques de la ressource
4	Recensement des utilisateurs potentiels
5	Analyse de l'adéquation entre les besoins et la ressource géothermique
	5.1. Analyse du potentiel raccordable
	5.2. Bilans énergétiques
	5.3. Bilan environnemental
6	Conception du réseau de chaleur (pour chaque hypothèse retenue)
7	Définition de la boucle géothermale
8	Estimations des investissements
	8.1. Boucle géothermale
	8.2. Réseau géothermique et installations de surface (pour chaque hypothèse retenue)
9	Organisation et coûts d'exploitation
	9-1. Organisation de l'exploitation
	9-2. Coûts d'exploitation
10	Financement
	10.1. Récapitulatif des dépenses actualisées
	10.2. Financement du projet
11	Définition de la structure juridique
12	Analyse économique
	12.1. Bilan et compte d'exploitation prévisionnel
	12.2. Indicateurs financiers synthétiques
13	Analyse du risque
14	Démarches administratives
15	Planning prévisionnel de réalisation
16	Conclusion

Un cahier des charges type peut être téléchargé sur www.geothermie-perspectives.fr.

Dans la rédaction de ce guide, il a été choisi de suivre les principales phases préconisées par la loi relative à la Maîtrise d'Ouvrage Publique (MOP).
Sur le plan technique, la réalisation passe par le choix du maître d'œuvre et des entreprises.

Des contrats de maîtrise d'œuvre définissent les rôles respectifs des différents partenaires et le maître d'ouvrage devra veiller à une bonne complémentarité des tâches entre sous-sol et surface, de manière à ce que les études et les travaux soient parfaitement coordonnés. Dans le cas de maîtres d'ouvrages publics, les contrats de maîtrise d'œuvre seront établis suivant le code des marchés publics.

Les études de maîtrise d'œuvre

L'étude de faisabilité permet de commencer les démarches administratives et de lancer les principales tâches à réaliser pour le maître d'œuvre qui sont les suivantes :

■ Études d'avant-projet sommaire et détaillé (APS-APD)

Ces études valident les choix techniques relatifs au type d'ouvrage choisi et à l'enveloppe financière qui en découle. Elles complètent l'étude de faisabilité qui a permis de lancer le projet.

■ Constitution des dossiers réglementaires et des dossiers de demande de subvention

Sur le plan administratif, le maître d'ouvrage doit demander et obtenir l'autorisation de recherche et de forer avant de commencer les travaux de forage. Il doit définir les mesures prises pour limiter les nuisances pendant la phase de forage, notamment en matière de nuisances sonores.

Les dossiers réglementaires à préparer sont les suivants :

- demande d'autorisation d'ouverture de travaux exploratoires ;
- demande d'autorisation de recherche.

Dans le cas où le projet est réalisable selon les conditions définies par le maître d'ouvrage, c'est à ce moment qu'il convient de soumettre officiellement ce dossier aux organismes chargés du financement et de l'octroi des aides (banques, ADEME, régions, ...). L'engagement de ces organismes permet alors au maître d'ouvrage de décider en toutes connaissances de cause, de réaliser le projet ou de renoncer.

■ Études de projet (PRO)

C'est une phase capitale dans la vie du projet : celle de la conception et de son montage. Elle rassemble tous les éléments techniques, économiques, financiers et juridiques, qui sont nécessaires à la prise de décision, soit d'abandonner le projet à ce stade, soit de passer à la réalisation.

L'objectif de cette étude est de rédiger un programme détaillé pour les travaux, qui servira de base au dossier de consultation des entreprises. Les travaux concernés sont :

- le génie civil ;
- le programme de forage ;
- le programme des essais.

■ Consultation des entreprises

Il s'agit maintenant de préparer les Dossiers de Consultation des Entreprises (DCE) qui seront présentes sur le chantier. Éventuellement, la maîtrise d'œuvre peut assister la maîtrise d'ouvrage pour passer les marchés de travaux et étudier les offres qui seront remises par les entreprises. Il s'agit de la mission d'assistance pour la passation des contrats de travaux (ACT), prévue par la loi MOP.

La phase des travaux de forage

La maîtrise d'œuvre et l'entreprise de forage

À ce stade, le maître d'œuvre est en charge de la direction de l'exécution du marché de travaux (DET).

L'organisation sur le chantier, généralement assurée par un ingénieur de forage expérimenté et par un superviseur de forage, dépend dans la plupart des cas du lien entre la maîtrise d'ouvrage et l'entreprise de forage.

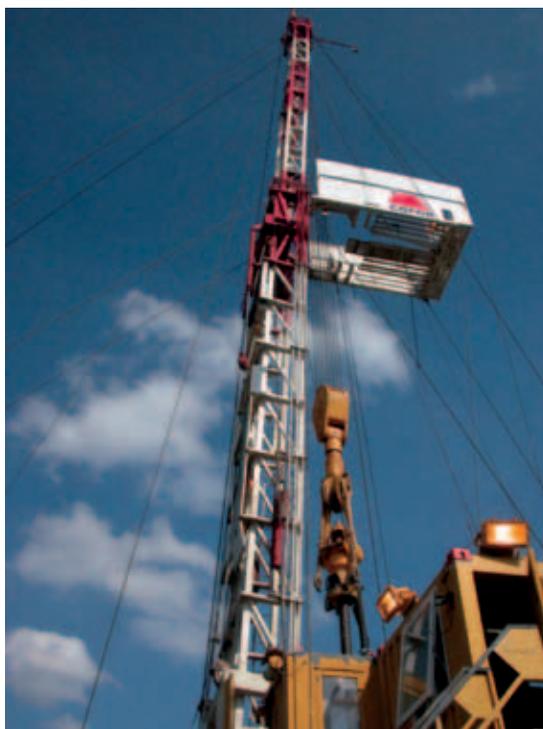
Le marché passé avec l'entreprise de forage est réparti en deux principaux postes :

- **l'amener repli, le montage, le démontage de la machine sur le site.** Ce poste est variable selon les distances de transport. Un groupement des réalisations par plusieurs maîtres d'ouvrage peut être un facteur de diminution de ce poste généralement important ;
- **les opérations de forage proprement dites.** Ce poste dépend de la durée des opérations de forage et du type de contrat signé avec l'entreprise de forage. Ce contrat peut être un contrat de forfait ou un contrat de régie.

Deux types de contrats liant la maîtrise d'œuvre et l'entreprise de forage existent :

– **Les contrats de forfait** dans le forage au forfait intégral : l'entreprise responsable du forage s'engage à réaliser un ouvrage, clef en main, conforme aux spécifications techniques du maître d'œuvre qu'elle a approuvées au préalable. Les rémunérations sont fixes et non révisables, quels que soient les aléas rencontrés en cours de chantier. Des pénalités pour retard ou des bonus pour réalisation plus rapide peuvent néanmoins être négociés.

Mât de forage (© BRGM)



– **Les contrats en régie** dans le cas de la régie (dite contrôlée) : le maître d'œuvre pilote tout ou partie des entreprises et des fournisseurs présents sur le chantier (entreprise de forage, sociétés de services, fournisseurs de tubages, ...). Il assure la responsabilité du contrôle géologique. Il propose et fait approuver les modifications du programme rendues nécessaires par les données géologiques de terrain, imprévisibles.

Les rémunérations sont variables sur la base d'un bordereau des prix approuvé à l'avance par le maître d'ouvrage. C'est généralement la durée des opérations qui est le paramètre variable le plus important, en raison du coût de fonctionnement élevé de la machine de forage. Mais il peut y en avoir d'autres comme les quantités de boue, de ciment, etc.

La phase de forage

La phase de forage est une étape importante de la phase de réalisation. Le forage est réalisé après choix :

- d'une coupe technique de forage établie en fonction de la géologie locale et des objectifs visés (réservoir, débit, ...);
- d'un programme de tubage définissant la longueur et les caractéristiques mécaniques des tubages à mettre en place;
- d'un programme de cimentation (le ciment permet de faire le lien entre les tubages et le sol);
- d'un programme de boue (type et caractéristiques);
- d'un programme de « diagraphies » (mesures en continu de paramètres physiques du terrain foré comme la porosité, la densité, ...);
- d'un programme de « complétion » qui définit la façon dont le réservoir va être exploité (trou ouvert, mise en place d'une crépine, d'un tubage perforé, ...).

Un choix devra être fait pour déterminer quel matériau devra être utilisé entre des tubages en acier API, en aciers spéciaux, en acier revêtu ou en matériaux composites.

La **coupe technique des forages** permet ensuite de calculer la longueur des tubages à mettre en place, à l'issue de chaque phase de forage dans un diamètre donné.

Les techniques utilisées restent quant à elles proches des techniques utilisées en forage pétrolier. La technique du **forage rotary** est la plus fréquemment utilisée : un outil de forage fixé à l'extrémité du train de tiges est entraîné en rotation depuis la surface et broie les formations géologiques rencontrées au fur et à mesure de l'avancement. De la boue est injectée à l'intérieur des tiges afin de remonter les débris de forage en surface où ils sont séparés. La boue joue un rôle important car elle permet de maintenir la pression des formations et de refroidir l'outil.

Les **appareils de forage** et leurs équipements annexes comportent de nombreux éléments en particulier :

- le mât de forage ;
- les équipements de levage et de rotation ;
- les sources d'énergie ;
- les pompes à boue et les équipements de boue ;
- les équipements de tête de puits et de sécurité ;
- les équipements de mesures des paramètres de foration ;
- le train de sonde ;
- les moyens d'instrumentation ;
- les moyens de tubage et de cimentation ;
- les équipements de chantier (baraquements, sécurité, véhicules) ;
- le matériel de mise en production.

La **plateforme de forage** nécessite, pour un doublet de forages profonds, jusqu'à une surface de l'ordre de 5 000 m² et peut entraîner une acquisition foncière qu'il faudra intégrer dans les investissements. Dans le cadre d'une exploitation en doublet, la configuration puits déviés sera préférée à deux forages droits permettant ainsi de faire l'économie d'une plateforme.

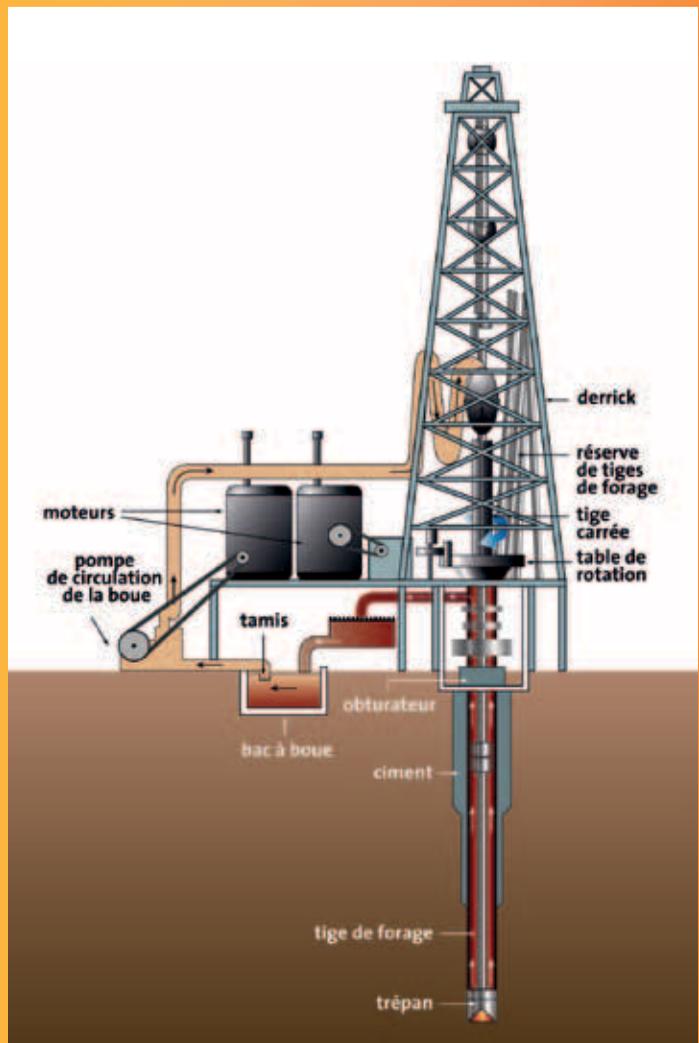


Schéma d'une plateforme de forage

La demande d'autorisation d'exploitation intervient lorsque les travaux et essais sont finalisés après la réception des ouvrages et le décompte des travaux. En effet, les performances, les caractéristiques et les impacts des puits, qui conditionnent la puissance de l'installation, ont été déterminés et permettent de rédiger le dossier de demande.

Les essais de production

À la fin de la période de forage, une opération de **stimulation du réservoir** est opérée par des méthodes dépendant de la nature du réservoir (acidification dans le cas de formations calcaires). Elle a pour objectif d'accroître les capacités de production du réservoir en provoquant une augmentation de la perméabilité du réservoir autour du puits. Elle contribue également au nettoyage du puits après forage.

Différents essais sont opérés qui permettent de déterminer les caractéristiques précises du réservoir (la transmissivité notamment) et d'évaluer l'efficacité de la stimulation (pertes de charge quadratiques limitées). Les caractéristiques de l'ouvrage (pertes de charges quadratiques et linéaires) sont déterminées lors de la mise en production.

Les différents essais de production

Le premier type d'essai est dit « **essai de puits** » ou de formation et nécessite une mesure simultanée du débit, de la pression en fond et/ou en tête et de la température.

Le principe d'un essai de puits est de suivre l'évolution de la pression du fluide en tête de puits ou au niveau du réservoir durant la mise en production (ou en injection) d'un puits ou durant un changement de débit. Le suivi de la remontée de pression après une période de production est la technique donnant les résultats les plus précis en s'affranchissant du bruit sur les mesures de pression. Plusieurs interprétations de ce test sont possibles (méthode de Horner, MDH, méthode des dérivées de pression, ...). Ces différentes méthodes mènent au tracé d'une courbe dont l'analyse couplée à l'équation de l'écoulement du fluide donne la transmissivité du réservoir. Cette perméabilité est évaluée dans un rayon plus ou moins grand autour du puits en fonction de la durée de l'essai.

Le deuxième type d'essai, dit « **essai par paliers** », caractérise le puits en suivant la réponse du puits à une variation des débits de production par paliers. La pression en tête de puits est relevée à chaque palier de débit et l'analyse de la courbe des pressions en fonction des débits permet d'estimer les pertes de charge dans le puits et dans le réservoir et de dresser ainsi une fiche d'identité de l'ouvrage.

Les essais de formation permettent d'investiguer les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère sur de grandes distances s'ils sont réalisés sur des durées suffisamment longues. Ils permettent ainsi de diminuer l'aléa sur la ressource et de minimiser le risque de déclin de productivité sur le long terme, dû à une variation des paramètres du réservoir à une certaine distance de l'ouvrage.

Les caractéristiques de la ressource ne seront précisément connues qu'après un test de longue durée. Cette phase d'essai permettra de valider le succès ou l'échec dans le cadre de la procédure de garantie court terme. Une fois les valeurs caractéristiques certifiées, les travaux de surface pourront être définis en détail et s'engager.

L'EXPLOITATION ET LA MAINTENANCE

Une fois les travaux terminés, il sera procédé à la mise au point et à l'équilibrage des différents réseaux avant la mise en service de l'opération.

La gestion des équipements de production

L'exploitation de la ressource nécessite l'obtention du permis d'exploitation établi sur la base des résultats des forages. Il définit le régime d'exploitation (débit, ...) et le périmètre de protection des ouvrages de captage et d'injection.

La conduite courante et la surveillance des installations de production géothermique peuvent être assurées par l'exploitant du réseau de surface dont la présence sur le site est généralement journalière. La maintenance des équipements et les mesures spécifiques sont assurées par des entreprises spécialisées qui interviennent, soit à la demande, soit sous forme de contrat annuel.

La gestion des réseaux de distribution

Pour la gestion du réseau, différentes solutions existent et ont été présentées dans les précédents chapitres (gestion directe, assistance technique, affermage, concession, ...)

Un cahier des charges liant le maître d'ouvrage et l'exploitant du réseau, précise les conditions générales du service que sont :

- **les conditions techniques** d'exploitation et notamment qualité et disponibilité de la chaleur mise à la disposition des clients ;
- **les conditions financières** de l'exploitation entre maître d'ouvrage et exploitant du réseau d'une part, entre exploitant et clients d'autre part.

L'exploitant garantit la fourniture de la chaleur et la fiabilité de fonctionnement du matériel, ainsi que des résultats énergétiques et financiers par une gestion optimale des installations.

Le marché qui lie l'exploitant au maître d'ouvrage est fréquemment assorti d'une clause d'intéressement et de pénalités en fonction des résultats obtenus cherchant à inciter l'exploitant à optimiser la récupération géothermale et à limiter la mise en route des chaufferies d'appoint.

Les principales prestations assurées par l'exploitant concernent :

- la direction et conduite des installations ;
- la surveillance et contrôle ;
- les réglages et équilibrage ;
- l'entretien courant ;
- l'optimisation de la récupération géothermale, gestion des combustibles d'appoint et consommations d'électricité ;
- la gestion du stock de pièces de rechange.

Le suivi de l'exploitation

Le suivi d'exploitation est en général assuré par un **bureau d'études** désigné après consultation pour ses capacités en matière technique et économique et son indépendance par rapport à l'exploitant.

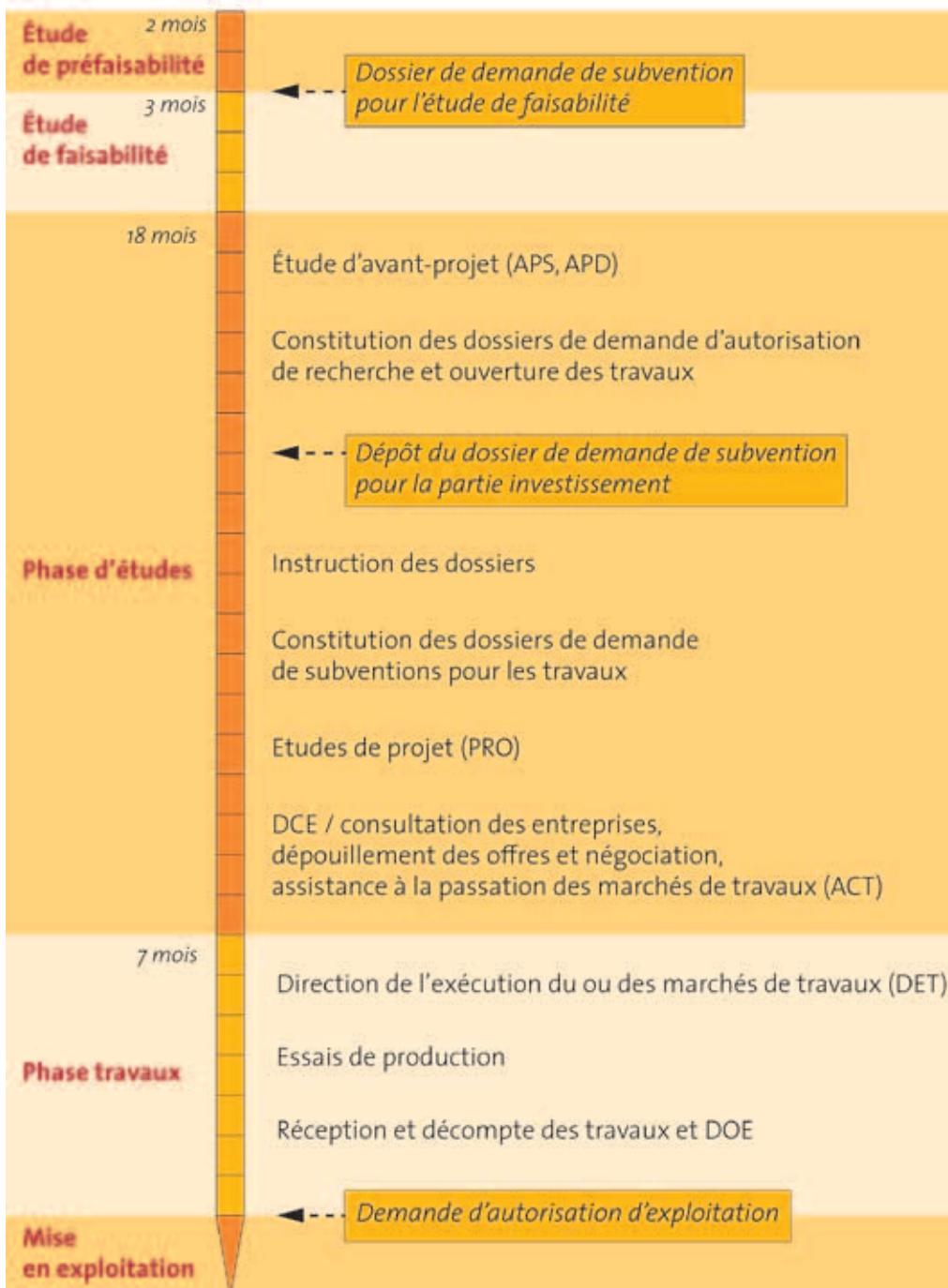
Globalement, le bureau d'études, spécialisé dans la gestion technique et économique des équipements du sous-sol, est en charge du suivi de l'ensemble de la boucle géothermale, au sens du petit entretien (contrôle et mesure des paramètres physiques de fonctionnement, géochimie des fluides, dépôts–corrosion) et jusqu'aux têtes de puits, au sens du gros entretien, l'exploitant se chargeant alors des éléments compris entre les têtes de puits et le réseau de distribution.

Des contrôles spécifiques périodiques de suivi des tubages et des cimentations sont imposés par l'administration dans le cadre du permis d'exploitation.

Les principales tâches du bureau d'études sous-sol	
Le traitement des relevés	Gestion des consommations électriques des groupes de pompage d'exhaure immergé et de réinjection ; calcul et vérification des caractéristiques mécaniques et métallurgiques des matériels d'exploitation en vue de déceler les dérives et les signes annonciateurs d'une panne probable.
Le suivi spécifique des prestations de conduite et de petit entretien	Analyses et prestations particulières (analyses chimiques pour le fluide géothermal et mesures de corrosion, vérification et entretien de la station de traitement anticorrosion, alimentation en inhibiteur de corrosion-dépôt) ; suivi et optimisation des règles et équilibrages des équipements de la boucle géothermale ; suivi des paramètres physico-chimiques de fonctionnement.
Le suivi spécifique des prestations de gros entretien	Gros entretien et renouvellement programmable ; suivi du compte gros entretien et renouvellement de matériel.

SYNTHÈSE DES GRANDES ÉTAPES D'UN PROJET TYPE

Le chronogramme d'une opération ci-dessous présente le déroulement et les grandes étapes d'un projet de géothermie pour alimenter un réseau de chaleur.



LE BILAN ÉCONOMIQUE ET FINANCIER D'UNE OPÉRATION DE GÉOTHERMIE SUR AQUIFÈRES PROFONDS

LES COÛTS D'INVESTISSEMENTS ET DE FONCTIONNEMENT

L'économie d'un projet de géothermie dépend de nombreux paramètres qu'il est difficile d'analyser de manière précise. Des caractéristiques générales peuvent toutefois être présentées.

Comparés aux opérations utilisant des énergies fossiles, les projets de géothermie sur aquifères profonds sont caractérisés par des investissements importants mais des coûts d'exploitation réduits et dépendant très peu de la fluctuation du coût de l'énergie fossile.

Ce chapitre n'a pas la prétention de donner des ratios applicables à toutes les opérations, mais une identification des postes de dépenses et un exemple chiffré pour une opération exploitant l'aquifère du Dogger.

Les coûts d'investissements

Il faut faire la distinction entre les coûts d'investissements liés à l'extraction de la chaleur du sous-sol et ceux nécessaires à la distribution de chaleur.

Les principaux postes d'investissement « sous-sol » sont :

- travaux d'aménagement des accès et génie civil de la plateforme et avant-puits ;
- amené, montage, ripage, démontage et repli de la machine de forage ;
- travaux de forage ;
- fourniture des équipements (tubage et vissage), des outils et des produits (boue, cimentation) ;
- opération de déviation des forages ;
- diagraphies et surveillance géologique ;
- stimulation du réservoir, essai et test de forage ;
- équipements : têtes de puits, pompes, colonne et variateur ;
- traitement, transport et manutention des déchets.

Parmi ces postes, les coûts des travaux et équipements de forage et le foncier de la plateforme sont des points sensibles.

En effet, le poste travaux de forages dépend de la durée des opérations de forage, de la profondeur du forage et du type de contrat signé avec l'entreprise de forage.

Les tubages en acier sont également les mêmes que ceux utilisés dans l'industrie pétrolière, avec éventuellement des problèmes de disponibilité pouvant avoir des répercussions sur les coûts.

Les investissements à réaliser en surface comprennent principalement :

- le transfert de la chaleur géothermale avec notamment :
 - . l'échangeur ;
 - . la pompe de réinjection avec son variateur de vitesse ;
 - . le génie civil de la centrale ;

- la réalisation ou l'adaptation d'un système d'appoint-secours ;
- le raccordement des moyens de production au réseau de distribution ;
- la création éventuelle du réseau de distribution et le raccordement des utilisateurs.

Le tableau ci-dessous donne des ordres de grandeur pour les postes « sous-sol » et « centrale » d'une opération type du Dogger du Bassin parisien.

Postes de dépense		Fourchette de prix, en € HT (coûts 2009)
« Sous-sol »	Travaux d'aménagement des accès et génie civil de la plateforme et avant-puits	7,8 – 8,4 M€
	Amenée- montage de la machine de forage	
	Ripage de la machine de forage	
	Démontage et repli de la machine	
	Forage	
	Tubage des équipements (fournitures) + vissage	
	Outils de forage	
	Produits boue	
	Cimentation des tubages et accessoires	
	Opération de déviation des forages	
	Diagraphies	
	Acidification et stimulation du réservoir	
	Essais et test de réservoir	
	Traitement déchets et évacuation bouillier	
	Transport et manutention eau et téléphone	
	Tête de puits	
Surveillance géologique		
« Centrale »	Pompe d'exhaure + colonne	1,8 – 2,5 M€
	Variateur pompe d'exhaure	
	Pompe d'injection	
	Variateur pompe d'injection	
	TFP + équipement de traitement	
	Échangeur et équipement	
	Filtration	
	Électricité (transformateur, contrôle commande, ...)	
	Bâtiment VRD	
	Liaison tête de puits	
	Assurance tous risques chantier (TRC)	1,4 – 2,1 M€
	Assurance SAF	
	Maîtrise d'œuvre	
	Assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO)	
TOTAL		11 – 13 M€

Les coûts d'exploitation de la boucle géothermale

Comme pour les investissements, il est intéressant de faire la distinction entre les coûts d'exploitation nécessaires au fonctionnement de la boucle géothermale et ceux liés à la distribution jusqu'aux sous-stations. Il existe selon les cas une répartition variable des tâches entre l'exploitant des installations et le bureau d'études « sous-sol ».

La décomposition des coûts de fonctionnement de la production d'énergie géothermique se fait généralement selon trois postes :

- **P1 – Les dépenses en énergie** : elles concernent la consommation électrique des pompes de production et de réinjection (avec, le cas échéant, la consommation des pompes à chaleur).

- **P2 - Conduite de l'installation et petit entretien** : ce poste comporte la surveillance de l'exploitation et l'entretien général des équipements (vannes, têtes de puits, surveillance du colmatage des échangeurs, pompes, ...), le suivi chimique périodique de la station de traitement anticorrosion-dépôts et de la ligne de traitement de fond, ainsi que le suivi des paramètres physiques et hydrauliques et électriques.

- **P3 - Dépenses de gros entretien et de renouvellement de matériel** : ce poste est conditionné par la durée de vie de certains équipements : la pompe de production a une durée de vie en milieu agressif qui peut être de l'ordre de 4 à 5 ans. C'est un poste important qui peut faire l'objet d'un contrat spécifique garantissant, moyennant une redevance annuelle, un remplacement immédiat en cas de panne. Cette redevance annuelle, dite de garantie totale, intègre le groupe de pompage et la colonne d'exhaure.

Généralement l'obligation de réalisation des diagraphies périodiques de contrôle réglementaire de l'état des puits est liée au gros entretien des groupes de pompage, notamment en ce qui concerne le puits producteur (réalisation à l'occasion d'une manœuvre de pompe).

Les provisions pour renouvellement des organes constituant la boucle géothermale (échangeurs, variateurs de vitesse, tête de puits) sont intégrées au poste gros entretien mais déclenchées en fonction des observations et diagnostics réalisés lors du petit entretien.

Le tableau ci-dessous donne des ordres de grandeur des postes principaux des coûts d'exploitation de la boucle géothermale (coûts moyens 2010).

Nature du poste d'exploitation et détail de la prestation	Coût moyen annuel € HT	Responsabilité
P1		
Fourniture d'énergie électrique pour le fonctionnement de 2 groupes de pompage (base 3000 à 3500 MWh à 70€/MWh)	240 000	Maître d'ouvrage
Fourniture de produit de traitement (inhibiteur de corrosion-dépôts)	30 000	Société de services
Sous-total annuel P1	270 000	

Nature du poste d'exploitation et détail de la prestation	Coût moyen annuel € HT	Responsabilité
P2		
Suivi d'exploitation des organes du sous-sol comprenant géochimie et mesures physiques, station de traitement anti-corrosion	35 000	Société de services
Diagraphies réglementaires de contrôle (tous les 5 ans dans les puits d'exhaure et 3 ans dans les puits d'injection)	10 000	Société de services
Suivi et petit entretien matériel de mesure et d'enregistrement	4 000	Société de services
Suivi d'exploitation, surveillance et contrôle (temps de personnel)	15 000	Exploitant
Sous-total annuel P2	64 000	

Nature du poste d'exploitation et détail de la prestation	Coût moyen annuel € HT	Responsabilité
P3		
Garantie totale groupe de pompage immergé, colonne d'exhaure et têtes de puits (base pour colonne d'exhaure 50 tubes de 6 m à 2700€/tube remplacés tous les 10 ans)	58 000	Société de services
Échangeurs à plaques en Titane comprenant démontage et nettoyage mécanique ou chimique	5 000	Exploitant
Main d'œuvre pour démontage divers	4 000	Exploitant
Groupe de pompage d'injection	6 000	Exploitant
Gros entretien capteurs, télé-suivi et enregistreurs	3 000	Exploitant
Sous-total annuel P3	76 000	

Total général exploitation maintenance boucle GTH	410 000	
--	----------------	--

Le prix de revient de la chaleur

Le prix de revient de la chaleur géothermale est le quotient du coût de revient annuel de la chaudière géothermale par la quantité de chaleur utile qu'elle permet de délivrer sur le réseau de chauffage urbain.

Le prix de l'énergie « sortie chaudière » est la somme du prix de revient de la chaleur géothermale et du coût de l'énergie d'appoint.

Pour obtenir le prix de vente de la chaleur à l'abonné, il faut ajouter au prix de l'énergie « sortie chaudière » les charges liées au réseau de chaleur.

Principes généraux de tarification

De manière générale, la tarification de l'énergie délivrée par un réseau de chaleur est définie par un binôme.

– **R1** : les charges proportionnelles à la consommation de chaleur (énergie d'appoint, électricité de pompage et de distribution) seront facturées en fonction de la consommation de chacun. Une variante consiste à tenir compte de la température de retour à la sortie des installations de l'abonné.

– **R2** : les charges fixes nécessaires à l'exploitation, aux provisions pour renouvellement et à la gestion peuvent se répartir en fonction de la puissance souscrite.

Les investissements initiaux liés au raccordement de l'abonné peuvent faire l'objet d'un droit de raccordement.

LE MONTAGE FINANCIER D'UNE OPÉRATION

Le financement d'une opération

Le financement d'une opération d'investissement peut se faire sous la forme d'apports en fonds propres, en emprunts au choix du maître d'ouvrage (public ou de son délégataire ou partenaire), qui peuvent être complétés aussi de subventions.

Il n'est pas fait de présentation détaillée des différentes formes de mobilisation de fonds propres ou d'emprunts.

Les mécanismes d'accompagnement et subventions mobilisables sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

La couverture des risques géologiques et miniers

Compte tenu du poids financier important d'une opération de géothermie et de la durée élevée d'amortissement des installations, les pouvoirs publics ont mis en place, dès 1981, une procédure de couverture des risques inhérents à cette activité spécifique.

Ce fonds, équilibré par les dotations de l'ADEME, les cotisations des assurés et les placements, est géré par la SAF Environnement créée à cet effet en 1981.

Deux catégories de risques sont couvertes par ce fonds :

- le risque de ne pas obtenir une ressource géothermale aux caractéristiques de débit et de température suffisantes, ne permettant plus alors la rentabilité de l'opération. C'est le risque appelé **court terme** ;
- le risque de voir cette ressource diminuer ou disparaître avant l'amortissement des installations, ainsi que les risques de sinistres affectant les puits, les matériels et équipements de la boucle géothermale. Ce sont les risques à **long terme**.

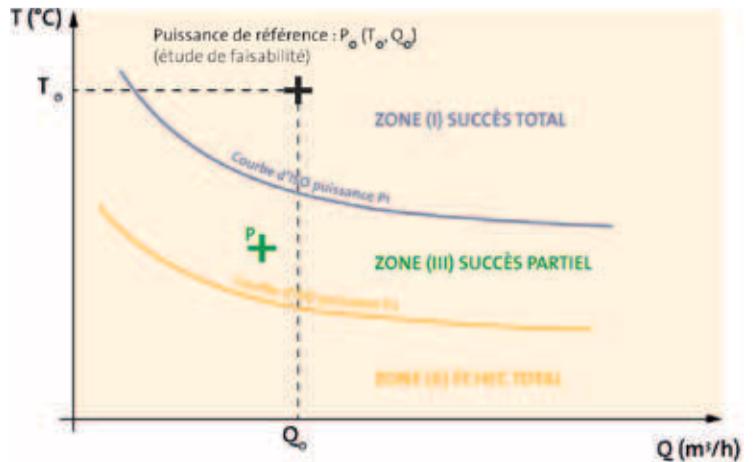
Le risque court terme

Le système mis en place garantit la majeure partie du coût du doublet en cas d'échec total ou partiel (c'est-à-dire si la ressource géothermale découverte se révèle insuffisante pour assurer une rentabilité minimale des installations). Les critères d'appréciation de succès ou d'échec sont déterminés, en fonction des résultats du premier forage à partir

d'une courbe établie après une étude de sensibilité aux variations du couple (débit, température) sur la rentabilité du projet. Le graphique ci-contre délimite trois zones : succès total (I), succès partiel (III) et échec total (II).

En cas d'échec total, le fonds prend en charge 65 % du coût du forage (après taxes et moins les subventions reçues). Certaines régions, comme la région Ile-de-France et l'Alsace, apportent une participation complémentaire de 25 %. Le plafond est fixé à 4 200 000 € par forage.

La souscription à la garantie **court terme** est validée après acceptation du dossier par le comité technique. Le montant de cette souscription est de 3,5 % du coût assuré pour les opérations du Bassin parisien et varie de 3,5 à 5 % pour les autres régions en fonction de la connaissance du risque géologique.



Risque court terme
Trois zones sont établies en fonction du débit et de la température

Le risque long terme

La garantie **long terme** porte sur :

- les puits ;
- les matériels et les équipements de la boucle géothermale (à condition que l'incident survienne pendant la durée de vie normale du matériel) ;
- le débit et la température du fluide géothermal, c'est-à-dire la puissance thermique de l'installation.

Qualification du dommage		Compensation financière assurée par le fonds
Incident réparable (baisse de puissance de l'installation provisoire et récupérable)		– Coût de la réparation des sinistres (pour autant qu'ils résultent d'une cause géologique ou géothermique) – Indemnité d'immobilisation de l'installation consécutive au sinistre
Incident non réparable (baisse de puissance de l'installation irréversible irrécupérable et définitive)	Sinistre partiel ($P > 50\% P_0$)	Proportionnelle à la perte de puissance occasionnée
	Sinistre total ($P < 50\% P_0$)	Globale, avec plafond fixé à 1 250 000 € et franchise de 100 000 € (en valeur 2008)

Risque long terme
Sinistres garantis par la garantie long terme

La durée du contrat est de 20 ans.

La souscription au fonds est validée si les législations en vigueur et règles techniques sont bien suivies. Le montant de cette souscription est de 12 500 € par an (valeur 2008).

Les mécanismes d'accompagnement

Pour favoriser le développement de la géothermie, les pouvoirs publics ont mis en place plusieurs mesures et instruments de soutien.

Les dispositifs incitatifs de l'ADEME

L'ADEME a mis en place un dispositif d'aides financières spécifique à la géothermie pour la réalisation d'études (diagnostic ou faisabilité) et pour les missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage. Le taux de ces aides peut s'élever jusqu'à 50 % du coût des études.

Le Fonds Chaleur

L'ADEME participe également au financement de l'investissement, avec la mise en place du Fonds Chaleur.

La mise en place du Fonds Chaleur renouvelable est un des engagements du Grenelle de l'environnement. Il concerne les opérations portées par les entreprises des secteurs primaire, secondaire, tertiaire et par les collectivités locales. L'objectif du Fonds Chaleur est de permettre aux installations produisant de la chaleur à partir d'énergies renouvelables d'être économiquement compétitives par rapport aux installations utilisant une énergie conventionnelle. Le montant exact des aides sera évalué au cas par cas pour les projets de géothermie. Le niveau d'aide proposé peut être atteint par le Fonds Chaleur seul ou en combinaison avec des aides régionales ou le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER).

L'octroi de l'aide sera subordonné à l'adhésion de l'opération à la couverture des risques présentés précédemment.

Les quotas carbone

Dans le cadre du protocole de Kyoto, les États signataires se voient assigner un objectif de réduction d'émissions de gaz à effet de serre. Différentes mesures en découlent et peuvent concerner le secteur de la géothermie sur aquifères profonds.

La directive européenne sur les quotas d'émissions (2003/87/CE) a mis en place l'établissement d'un marché de quotas d'émission de gaz à effet de serre au sein de l'Union européenne, à partir du 1er janvier 2005.

Le tonnage d'émission national est réparti par l'État, à travers un plan national d'affectation de quotas d'émissions de CO₂ (PNAQ), entre les différents exploitants d'installations émettrices de gaz à effet de serre (entreprises des secteurs de l'industrie et de la production d'énergie, dont les chaufferies de plus de 20 MW des réseaux de chauffage urbain).

Les Certificats d'économie d'énergie

Le principe des Certificats d'Economie d'Energie (CEE) repose sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie imposée par les pouvoirs publics sur une période donnée aux vendeurs d'énergie (électricité, gaz, chaleur, froid et fioul domestique).

Une seconde période va être lancée dont les modalités seront précisées par la loi Grenelle II.

Remarque : Les aides du Fonds Chaleur ne sont pas cumulables, ni avec les Certificats CEE (lorsque ceux-ci portent sur le même objet que l'aide du Fonds Chaleur) ni avec les projets domestiques. Par contre, les entreprises ou réseaux de chaleur soumis au PNAQ sont éligibles aux aides du Fonds Chaleur.

ANNEXE : LES ORGANISMES IMPLIQUÉS DANS LE DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX DE CHALEUR ET/OU DE LA GÉOTHERMIE

■ L'ADEME

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe des ministères en charge de l'environnement, de l'industrie et de la recherche. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. L'agence met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités territoriales, des pouvoirs publics et du grand public et les aide à financer des projets dans cinq domaines : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit, et à progresser dans leurs démarches de développement durable.

Pour tous renseignements sur la géothermie et/ou les réseaux de chaleur, des contacts sont présents dans les différentes directions régionales de l'ADEME.

■ Le BRGM

Établissement public de référence dans le domaine des géosciences et de la connaissance du sol et du sous-sol français, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) conduit des activités de recherche, de coopération internationale ainsi que des missions d'appui aux politiques publiques. Ses objectifs sont de :

- comprendre les phénomènes géologiques, développer des méthodologies et des techniques nouvelles, produire et diffuser des données pertinentes et de qualité ;
- mettre à disposition les outils nécessaires à la gestion du sol, du sous-sol et de ses ressources, à la prévention des risques naturels et des pollutions, aux politiques d'aménagement.

Le BRGM dispose d'un département spécifique qui couvre tout le champ de la géothermie : pompes à chaleur et réseaux de chaleur, électricité dans les îles volcaniques, systèmes géothermiques non conventionnels,... Il poursuit deux axes stratégiques : d'un côté, faciliter l'accès de tous, en partenariat avec l'ADEME, à une information fiable pour aider à une mise en œuvre de la chaleur géothermique dans l'habitat, l'industrie, le tertiaire ; de l'autre, développer une activité de recherche (études géologiques, localisation de la ressource, exploitabilité,...).

Le Centre Technique de Géothermie a été créé en octobre 2008 pour répondre à une demande des professionnels de la géothermie, à l'origine en Ile-de-France, dans le but de venir en appui des acteurs de la géothermie basse température, en étant lieu de capitalisation des connaissances et des savoir-faire, d'amélioration des techniques, de diffusion et de porter à connaissance. Il a pour objectif d'élargir son action vers des aquifères profonds dans d'autres régions françaises (Aquitaine, Alsace, etc.) et vers des aquifères plus superficiels desservant des bâtiments du secteur tertiaire, de collectivités territoriales ou de logements collectifs.

Une quantité importante d'informations sur la géothermie est proposée sur le site internet ADEME-BRGM consacré au sujet : www.geothermie-perspectives.fr.

■ **Le Comité National de la Géothermie**, créé en juillet 2010 sur l'initiative du MEEDDM et actuellement présidé par Philippe Vesserou, a pour tâche de proposer des actions et des recommandations pour le développement de chacune des formes de la géothermie, au travers d'une « gouvernance à 5 », en cohérence avec la méthode du Grenelle environnement. Il a débuté ses travaux sur trois enjeux prioritaires : la simplification administrative et la qualité, la formation des personnels et la diffusion de l'information vers chacune des parties intéressées.

■ Les Conseils régionaux

Certains Conseils régionaux participent avec l'ADEME au subventionnement des projets.

■ Les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL)

Sous l'autorité du préfet de région, les DREAL pilotent les politiques de développement durable résultant notamment des engagements du Grenelle de l'environnement ainsi que celles du logement et de la ville. Les DREAL sont issues de la fusion des DIREN (Directions Régionales de l'Environnement), des DRE (Directions Régionales de l'Équipement) et des DRIRE (Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement). Huit DREAL ont été créées en 2009, 13 le seront en 2010 et 4 en 2011.

Pour l'Ile-de-France a été créée la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie d'Ile-de-France (DRIEE-IF).

Pour les régions où la DREAL n'a pas encore été créée, la DRIRE est un interlocuteur important en ce qui concerne la géothermie. Elle favorise l'accès aux ressources du sous-sol, en veillant à une bonne exploitation des gisements. Elle contrôle les conditions d'exploitation des forages géothermiques afin d'assurer la santé et la sécurité des personnes ainsi que la protection de l'environnement.

■ Les Centres d'Études Techniques de l'Équipement (CETE)

Ce sont des organismes publics de recherche & développement, d'innovation et d'ingénierie. Maillons du réseau scientifique et technique du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM), ils sont des interlocuteurs privilégiés pour la mise en œuvre des politiques publiques, au service des acteurs de l'aménagement et du développement durables des territoires.

Le Pôle de Compétence et d'Innovation (PCI) du CETE de l'Ouest assure les missions suivantes, pour le compte de la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC), sur la thématique réseaux de chaleur :

- appui à la DGEC dans la définition des politiques et la mise en œuvre d'actions nationales ;
- contribution à la constitution d'outils à destination des services de l'État et des collectivités territoriales ;
- participation à l'animation technique des réseaux publics et professionnels ;
- accompagnement des démarches locales et retours d'expériences.

■ LA SAF Environnement

La gestion du fonds de garantie a été confiée par les pouvoirs publics à la société SAF Environnement, créée spécialement à cet effet en 1980 pour la géothermie, avec comme mission de mettre en place et gérer ensuite le système de garantie.

Cette société, filiale de la Caisse des dépôts et consignations, comporte dans son capital plusieurs établissements financiers, tous directement concernés par le développement des énergies renouvelables.

Son comité technique chargé d'examiner les dossiers de sinistre est composé de :

- deux représentants de l'ADEME qui en assure la présidence,
- un représentant du BRGM,
- un représentant des maîtres d'ouvrage publics et un représentant des maîtres d'ouvrage privés,
- un représentant des établissements financiers spécialisés dans le financement des projets d'énergies renouvelables,
- le représentant de la SAF Environnement, gestionnaire du Fonds.

Assistent également aux séances du Comité, les experts mandatés par lui pour instruire les dossiers.

■ **L'Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG)**

L'AFPG a été créée le 15 Juin 2010 à Paris. Organisée en quatre filières (haute énergie et production d'électricité, usages directs, pompes à chaleur collectives et pompes à chaleur individuelles), son but est d'accompagner et d'accélérer le développement des ressources géothermiques abondantes en France et encore sous-exploitées actuellement. L'association compte devenir le partenaire professionnel incontournable et l'interlocuteur privilégié des pouvoirs publics pour le domaine de la géothermie, tant en France que dans les DOM-TOM.

■ **L'AGÉMO**

L'AGÉMO est une association des maîtres d'ouvrage publics en géothermie. Créée en 1986, cette association regroupe 23 maîtres d'ouvrage de la région parisienne. Ses objectifs se résument à :

- étudier les problèmes communs aux maîtres d'ouvrage publics en géothermie et développer toutes actions susceptibles de résoudre ces problèmes.
- échanger les informations, analyser les problèmes techniques, réglementaires, financiers, organiser des actions communes (appels d'offres, expositions, vidéos, ...), promouvoir la géothermie, représenter les maîtres d'ouvrage.

■ **Amorce**

Association nationale de collectivités, d'associations et d'entreprises pour la gestion des déchets, de l'énergie et des réseaux de chaleur, l'association Amorce compte parmi ses membres près de 400 collectivités et 170 entreprises. Elle défend les positions des collectivités au plan national et propose des conseils et de la documentation sur les questions juridiques, techniques, économiques et organisationnelles.

■ **SNCU**

Membre de la Fédération des services énergie environnement (FEDENE), le Syndicat National du Chauffage Urbain (SNCU) est le représentant officiel des professionnels du chauffage urbain. Le SNCU participe aux travaux de normalisation nationaux et européens. Il réalise chaque année une enquête statistique nationale sur les réseaux de chaleur, pour le compte du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM).

■ **Via Séva**

L'association Via Séva qui fédère essentiellement des acteurs du secteur privé (gestionnaires de réseaux, équipementiers, bureaux d'études, etc.) est tournée vers la promotion des réseaux de chaleur.

