

N°137
Mai
2019

La Lettre AIM

Objectif de la lettre :

Transmettre à nos partenaires une information régulière sur nos activités et notre actualité, les services que nous sommes à même de leur proposer ainsi que des points techniques ou réglementaires qu'il nous paraît intéressant de mettre en avant.

Toutes nos lettres peuvent être consultées ou téléchargées sur notre site (rubrique "dossiers en consultation")

Une affaire en cours

AIM construit actuellement en qualité de Contractant Général 3 bâtiments à usage de commerces sur la zone ISIPARC à St ISMIER.

Architectes : COCONCEPT / ARA Architectes

Surface construite : 2 090 m²



Les différents types de géothermie

Ci joint un article paru dans Chaud Froid Performance , CFP, Avril 2019, traitant des différentes techniques de géothermie.

<https://lebatimentperformant.fr/page/cfp-abonnement>

Le Tableau de bord de l'activité

Effectif :	Nombres d'affaires actives en cours : 32	
14 personnes	Dont avants projets : 13	Dont DCE : 6 avec affaires en consultation 2
(13 CDI + 1 CDD)	Dont chantiers : 10	Dont AMO : 3

AUDIT - INGENIERIE - MANAGEMENT DE PROJET

SARL au capital de 30 000 Euros - RCS Vienne B 403 328 651

40, Chemin de Baraban - 38690 CHABONS - tél. : 04-76-65-07-97 / fax : 04-76-65-06-86

mail : contact@aimingenierie.com — site : www.aim-ingenierie.com

La géothermie, une énergie tout-terrain

La géothermie, du grec «géo» la terre et «thermos» la chaleur, désigne le processus permettant de capter en profondeur la chaleur terrestre pour la transformer en source de chauffage ou d'électricité. L'exploitation de la chaleur souterraine se fait via un système de canalisations dans lesquelles circule un échange de courants chauds et froids. Retour sur les principales technologies de géothermie.

Tapez pour saisir le texte



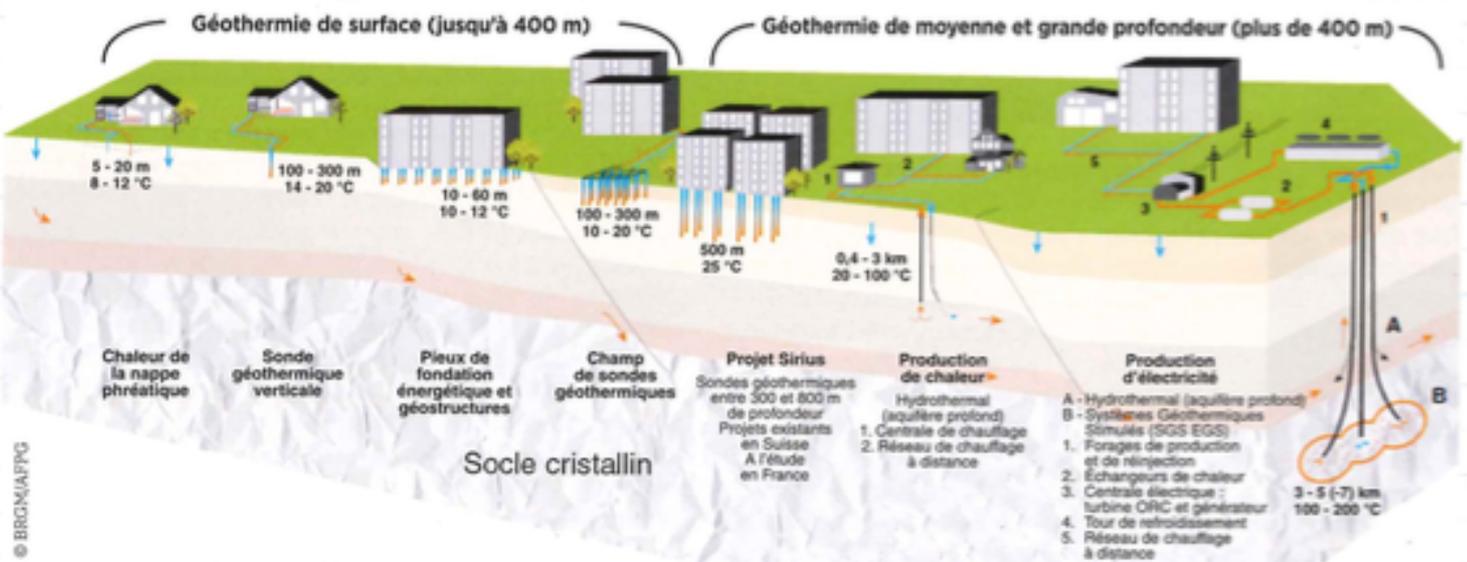
Article réalisé en collaboration avec Christophe Luttmann, responsable du développement forage SGV chez Weishaupt, et le site www.geothermie-perspectives.fr (édité par l'Ademe et le BRGM)

La géothermie consiste à extraire l'énergie gratuite contenue dans le sol à température constante, sans intermittence ni variation saisonnière, afin de l'utiliser comme source chaude ou froide pour le chauffage ou le rafraîchissement par pompe à chaleur. Que ce soit sous forme d'eau chaude utilisée pour chauffer directement des habitations, ou sous forme de vapeur pour produire de l'électricité, on retrouve deux formes de géothermie : la géothermie de surface et la géothermie profonde (figure 1).

1 - LA GÉOTHERMIE DE SURFACE

La géothermie de surface (ou très basse énergie) est à une température trop basse pour un usage direct (figure 2). Il est donc nécessaire d'utiliser une pompe à chaleur géothermique qui amplifie l'énergie prélevée ou injectée au sous-sol pour pouvoir la diffuser à la bonne température dans le bâtiment. Avec cette typologie de ressource, il est possible de produire du chauffage et du rafraîchissement.

FIG. 1 - Deux formes de géothermie distinctes



1.1 - Pompe à chaleur sur capteurs horizontaux

Les capteurs ou échangeurs horizontaux nécessitent une surface importante de terrain à mobiliser, entre 1 à 2 fois la surface à chauffer selon l'isolation. Par exemple, pour une maison de 150 m², les échangeurs occuperont entre 150 m² du jardin, s'il s'agit d'une maison BBC, et 300 m² pour une maison traditionnelle. Ces échangeurs sont constitués de tubes de polyéthylène ou de cuivre gainés de polyéthylène (PE), installés en boucles enterrées horizontalement à faible profondeur (de 0,60 m à 1,5 mètre en fonction de la température du site). Ces tubes en PE doivent être placés au moins à 20 cm sous la couche sujette au gel de la région (figure 3). Dans ces tubes, l'eau additionnée

Suite page 54 >>>

FIG. 2 - Les variations de température sont amorties sur les 10 premiers mètres

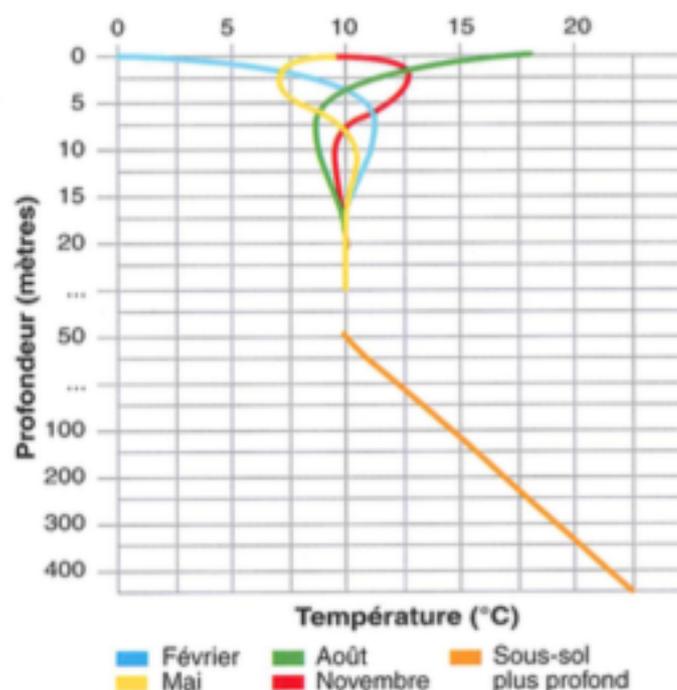


FIG. 3 - Pac sur échangeurs horizontaux



>>> Suite de la page 53

d'antigel ou le fluide frigorigène, suivant le type de pompe à chaleur, circule en circuit fermé. L'espacement entre les tubes de diamètre 25 est de 50 cm, soit une densité surface de puissance de 25 W/m².

Avantage : investissement réduit, production possible de chauffage, eau chaude sanitaire et rafraîchissement – bien adapté dans le cadre d'une construction.

Inconvénient : nécessite un terrain d'une superficie équivalente ou supérieure à la superficie du bâtiment à chauffer.

1.2 - Pompe à chaleur sur capteurs verticaux

Ce système par sondes géothermiques verticales (SGV) consiste à faire circuler un fluide caloporteur en circuit fermé dans un échangeur vertical (figure 4). Le transfert de calories se fait avec le sol sans sollicitation d'une nappe souterraine. L'échangeur enterré dans le sous-sol est constitué d'une ou de plusieurs sondes verticales composées en général de deux tubes en U en matériaux synthétiques placés dans le forage. Le contact entre le capteur et le sous-sol se fait par l'intermédiaire d'un mélange de ciment et de bentonite appelé «cimentation». La réalisation de la cimentation est donc une opération cruciale pour la bonne performance de l'installation. Ces capteurs enterrés verticaux sont parcourus par un liquide antigel, mis en mouvement par une pompe de circulation.

L'atout de cette technique est de n'avoir qu'une très faible empreinte sur le sol. Un forage de sonde représente une ouverture du sous-sol de moins de 20 cm de diamètre et peut ainsi être réalisé partout où une foreuse peut accéder. Le dimensionnement des capteurs s'effectue en mode chaud sur la base d'une puissance soutirée au sous-sol de l'ordre de 45 à 50 W/ml (puissance source froide de la pompe à chaleur).

La capacité de prélèvement est globalement indépendante de la profondeur car la température est stable à ces profondeurs. Ainsi, deux forages de 50 m sont à peu près équivalents à un forage de 100 m. La capacité de prélèvement dépend cependant de la nature des roches traversées et une étude spécifique est nécessaire pour déterminer la longueur à forer.

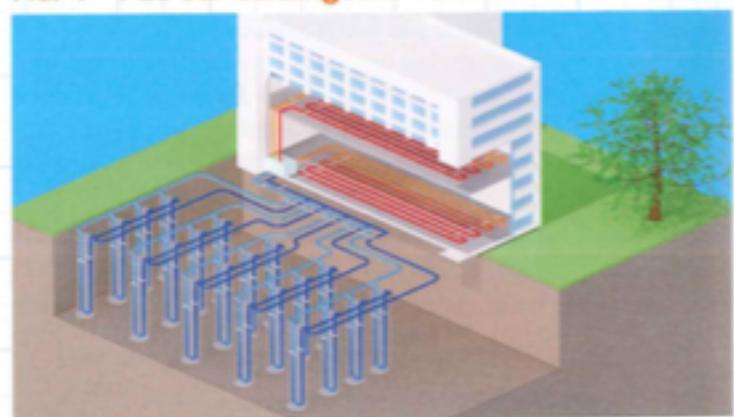
Les échangeurs verticaux sont plus délicats à poser que les échangeurs horizontaux. Il est nécessaire de respecter un minimum de distance pour éviter les interactions thermiques et mécaniques avec d'autres éléments du sous-sol : canalisations, ouvrages enterrés, arbres... Lorsque le forage a lieu dans un périmètre de protection d'un captage d'eau potable (zone AEP, information disponible en mairie), l'impact environnemental est jugé élevé par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses).

D'un point de vue réglementaire, une déclaration au titre du code minier n'est plus nécessaire entre 10 mètres et 200 mètres de profondeur. Au-delà de 200 m, il est indispensable de demander une autorisation. Ces démarches sont à réaliser auprès de la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Dreal). Certains projets intégrant des sondes entre 200 et 300 mètres de profondeur ont déjà été réalisés.

Avantage : empreinte au sol de quelques dizaines de centimètres carrés, système le plus performant – parfaitement adapté à la rénovation et aux bâtiments classés ou similaires.

Inconvénient : coût de forage, soumis au code minier le cas échéant (zone rouge, forage > 200 m, puissance > 500 kW).

FIG. 4 - Pac sur échangeurs verticaux

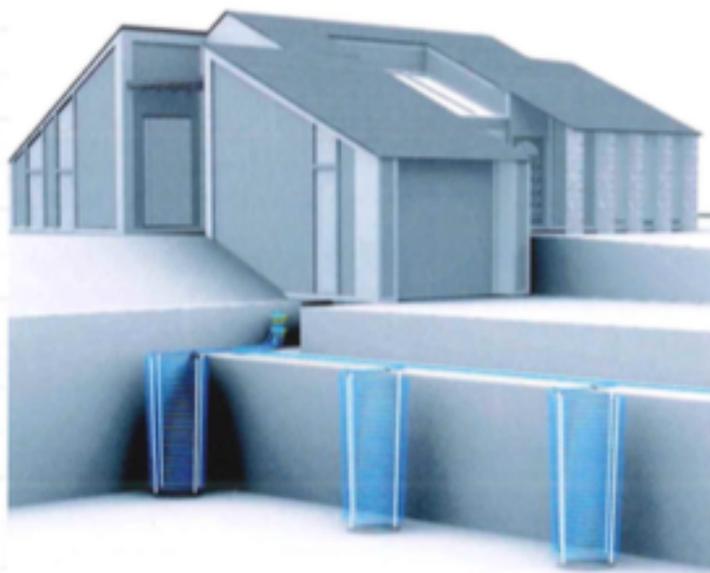


1.3 - Pompe à chaleur sur échangeurs compacts (corbeille géothermique)

Ce système de forme cylindrique ressemble à une corbeille (figure 5). Les échangeurs compacts constituent un intermédiaire entre les capteurs horizontaux et les capteurs verticaux. En effet, ne nécessitant pas de forage, les coûts d'investissement s'en trouvent réduits, tout en permettant une installation sur une surface de terrain limitée. Les corbeilles permettent un gain de surface d'environ 40 % en comparaison des capteurs horizontaux. Ce système s'installe jusqu'à 2,5 mètres de profondeur pour des corbeilles d'un mètre de diamètre. La puissance soutirée est valorisée à environ 1 kW/corbeille.

Les constructeurs et distributeurs français avancent des puissances d'extraction supérieures par échangeur installé (à valider

Fig. 5 - Corbeilles géothermiques



au cas par cas), pour une emprise sur le sol allant de 30 à 150 cm de diamètre.

Avantage : pas de coût de forage, emprise au sol de quelques mètres carrés, production possible de chauffage, eau chaude sanitaire et rafraîchissement – adapté à la rénovation.

Inconvénient : technologie émergente.

1.4 - Pompe à chaleur sur eaux usées (cloacothermie)

La chaleur des eaux usées est une énergie disponible en quantité importante en milieu urbain et donc proche des besoins. L'échangeur de chaleur est soit directement intégré dans des canalisations neuves lors de leur fabrication, soit rapporté et posé

en partie basse des canalisations d'eaux usées existantes ou construites spécifiquement. La récupération de chaleur des eaux usées est appelée «cloacothermie». Elle met en œuvre un échangeur capable de récupérer et de transférer cette énergie vers une pompe à chaleur qui est à même de porter un liquide caloporteur à une température adéquate pour répondre aux besoins d'un bâtiment. Une fois leur énergie récupérée au travers de l'échangeur, les eaux usées reprennent leur cycle classique de collecte et d'assainissement. Compte tenu de la température des eaux usées tout au long de l'année (moyenne autour de 15 °C) et de leur faible variation entre l'hiver et l'été, la cloacothermie peut répondre à la fois à des besoins de chauffage en hiver et de rafraîchissement en été. Quelles sont alors les différentes techniques de récupération ?

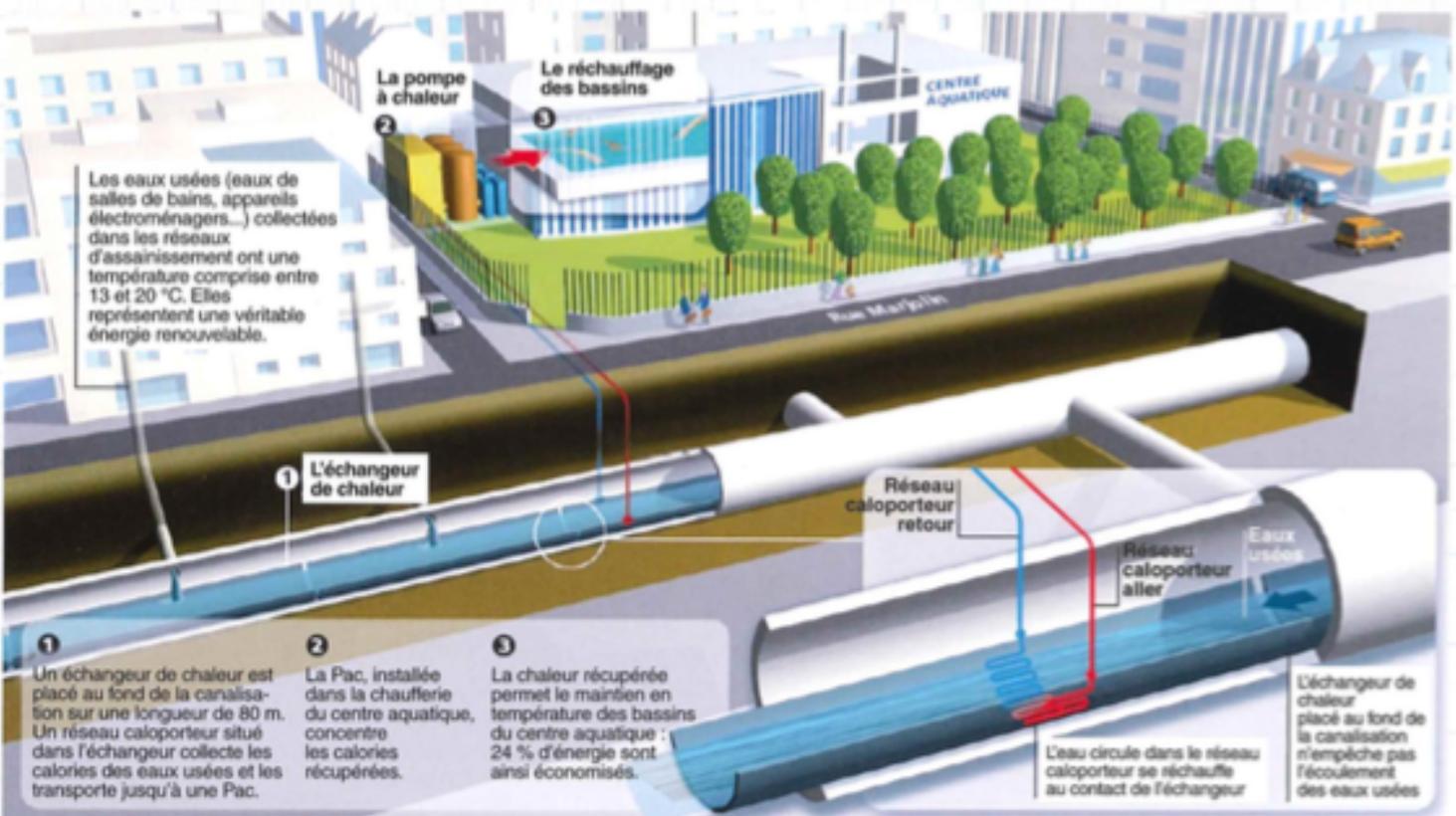
- **Dans les collecteurs du réseau d'assainissement.** Cette solution utilise la chaleur des effluents et met en œuvre des échangeurs spécifiques qui sont soit directement intégrés dans des canalisations neuves lors de leur fabrication, soit rapportés et posés en partie basse des canalisations d'eaux usées existantes. Elle nécessite des collecteurs de taille adaptée, non coulés sur une longueur suffisante et disposant d'un débit d'eaux usées minimum. Couplé à une chaudière et une pompe à chaleur, un tel dispositif permet éventuellement d'alimenter un chauffage à distance (exemple figure 6).

- **Dans les stations d'épuration (STEP).** Cette solution utilise la chaleur des effluents une fois traités (eaux épurées) et peut être mise en place dans l'enceinte de la STEP, en amont du rejet des eaux épurées vers le milieu naturel. Elle peut théoriquement autoriser une liaison directe vers la pompe à chaleur et éviter ainsi la présence d'échangeur.

- **Dans les stations de relevage.** La solution de récupération de chaleur des eaux usées au niveau des stations de relevage peut être intéressante car ces stations sont situées en ville et donc proches des preneurs de chaleur. Le système utilise une fosse de relevage

Suite page 56 >>>

Fig. 6 - Degrés bleus, une énergie verte pour le centre aquatique de Levallois



>>> Suite de la page 55

existante. Une partie des eaux usées est pompée de la fosse de la station de pompage avant la STEP vers des échangeurs.

• **Au pied de bâtiments.** Cette solution nécessite obligatoirement une évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes. Elle peut permettre l'utilisation de matériel non spécifique aux eaux usées (échangeurs standard, Pac...) et nécessite généralement des systèmes «sophistiqués» de filtrations et d'autonettoyage des échangeurs sur eaux usées. La chaleur des eaux usées est captée directement à la sortie de l'immeuble, grâce à un échangeur de chaleur installé dans une fosse dédiée à cette utilisation. Les eaux usées arrivent dans une cuve centrale. Le filtre retient les plus grosses particules dans la cuve et une pompe déverse quotidiennement les résidus accumulés dans la cuve vers le collecteur. Le niveau d'eau dans la fosse est maintenu suffisamment haut pour qu'il y ait déversement du trop-plein dans le tube intermédiaire puis vers le collecteur.

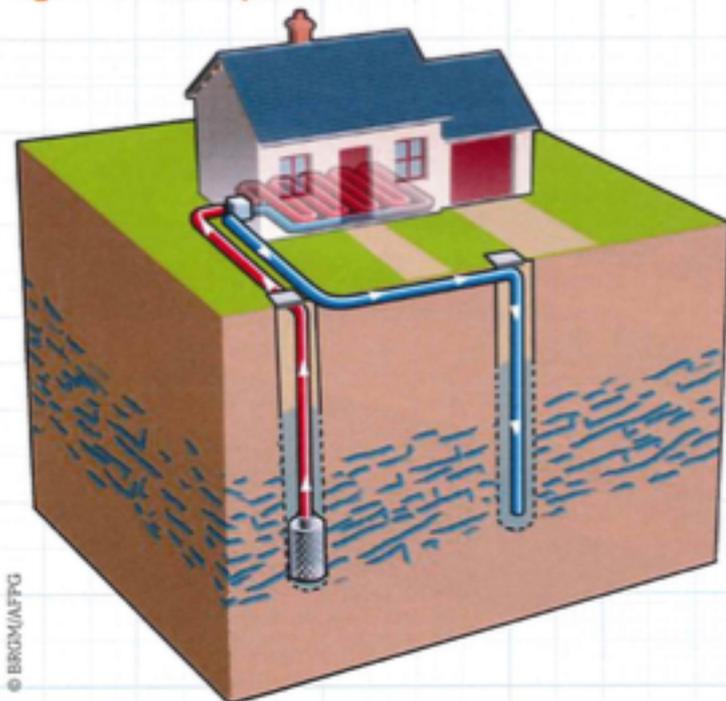
1.5 - Pompe à chaleur sur aquifère (géothermie sur nappe)

Le doublet sur aquifère consiste à pomper l'eau d'une nappe souterraine au travers d'un forage de production et à faire passer cette eau dans un échangeur thermique à plaques pour y puiser des calories avant de réinjecter l'eau via un second forage (figure 7). Cette solution est destinée aux bâtiments résidentiels collectifs et aux bâtiments à usage tertiaire. Bien que ce système présente les meilleurs coefficients de performance, il est le plus complexe à installer : il nécessite des précautions d'installation pour éviter les mises en connexion d'aquifères, ainsi qu'un entretien régulier par des professionnels qualifiés. Ce type de géothermie a l'avantage de faire du rafraîchissement gratuit et direct par le sol, en by-passant l'échangeur de la pompe à chaleur (free cooling). Avant la mise en place d'une Pac sur aquifère, une étude hydrogéologique doit être réalisée. Elle comporte une description succincte du projet avec l'indication du lieu et du débit recherché (au préalable, il faut avoir une estimation des besoins thermiques en puissance et en kWh).

Avantage : rendement énergétique le plus performant.

Inconvénient : dépendant des contraintes hydrogéologiques du site (disponibilité et qualité) ; coût non négligeable de pompage et de traitement de l'eau ; soumis à la loi sur l'eau et au code minier.

Fig. 7. Pac sur aquifère



1.6 - Pompe à chaleur sur fondations thermoactives (géosstructure)

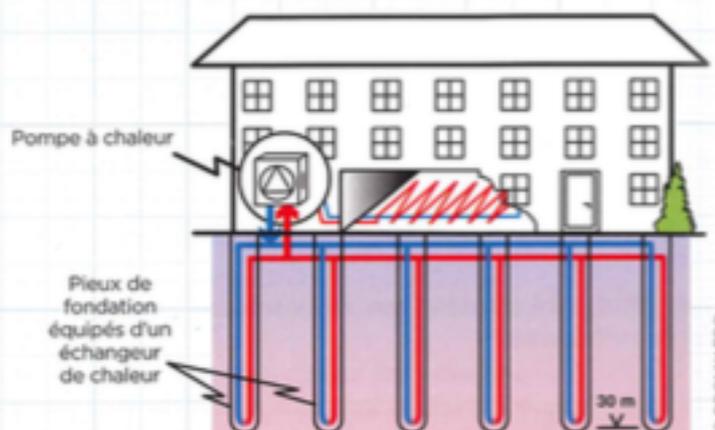
Certains bâtiments doivent être construits, pour des raisons de portance, sur des fondations. Les fondations sont des ouvrages souterrains destinés à assurer la stabilité statique du bâtiment en reportant son poids dans les profondeurs du sol.

Comme pour les sondes géothermiques verticales, le principe consiste à prélever ou injecter de l'énergie thermique au travers de plusieurs boucles en polyéthylène haute densité (PEHD) mais qui sont fixées sur les armatures des fondations (pieux, radier, parois moulées) afin d'échanger de l'énergie avec le sol (figure 8). Les fondations thermoactives servent donc à la fois d'éléments de portage du bâtiment et d'échangeurs de chaleur avec le terrain environnant, permettant le chauffage et le refroidissement du bâtiment.

Avantage : investissement limité car intégration complète aux fondations du bâtiment.

Inconvénient : rendement énergétique limité.

Fig. 8. Pac sur fondations thermoactives



2 - GÉOTHERMIE PROFONDE

2.1 - La géothermie basse et moyenne température (30 à 150 °C)

Cette technologie valorise directement la chaleur des formations sédimentaires situées entre 500 et 2 500 mètres de profondeur. Elle est exploitée à travers les réseaux de chaleur urbain et aussi pour le chauffage des serres, piscines et établissements thermaux.

2.1.1 - Géothermie basse température

Deux nappes coexistent en Ile-de-France à moyenne profondeur : l'Albien (vers 600 m de profondeur, entre 25 °C et 30 °C) et le Néocomien (750 m de profondeur, entre 35 °C et 40 °C). Ces deux aquifères alimentent ponctuellement des opérations géothermiques, mais nécessitent l'installation de Pac de grande puissance, la température de l'eau étant insuffisante pour être utilisée avec un simple échangeur. Les sables de l'Albien sont très productifs, et peuvent alimenter du chauffage ou de la climatisation au moyen de pompes à chaleur (figure 9, page suivante).

2.1.2 - Géothermie moyenne température

Pour la moyenne température au-delà de 90 °C, l'aquifère du Dogger est accessible dans l'Est francilien, bien connu car exploité depuis des décennies. Le contexte géologique favorable du bassin parisien a permis le développement, dès la fin des années 70, de réseaux de chaleur géothermiques, alimentés principalement à partir de la nappe du Dogger (calcaires du Jurassique moyen). Cette nappe a une excellente productivité mais est fortement minéralisée. Elle est utilisée avec la technique du «doublet» : un

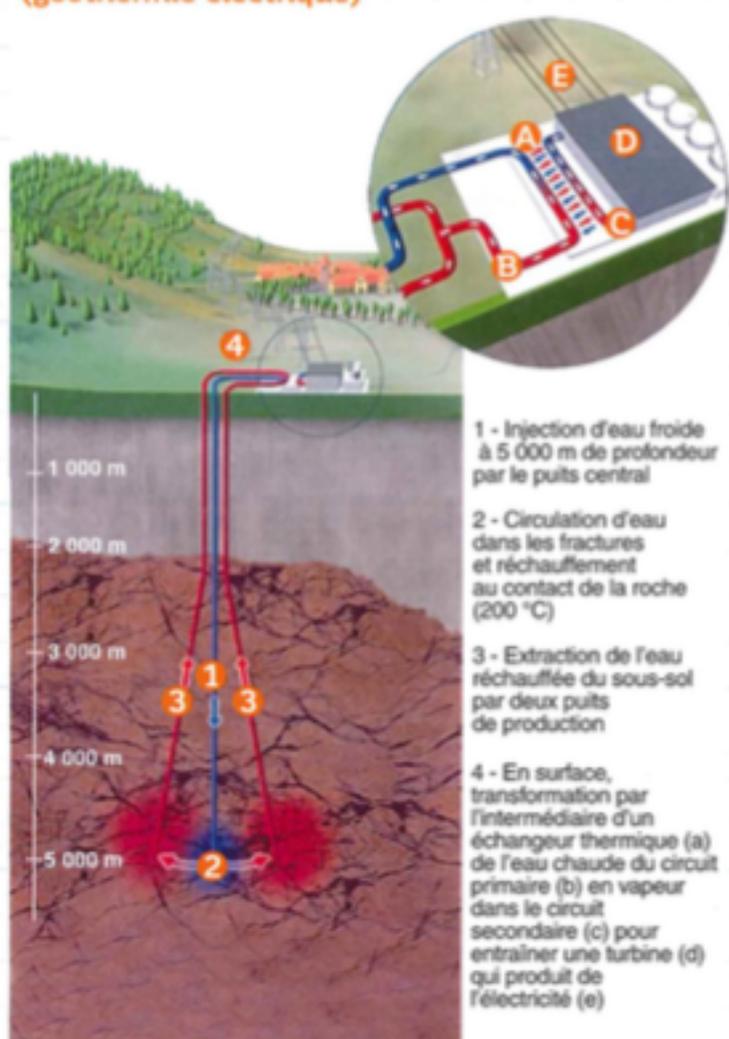
Suite page 58 >>>

FIG. 9. Géothermie basse température



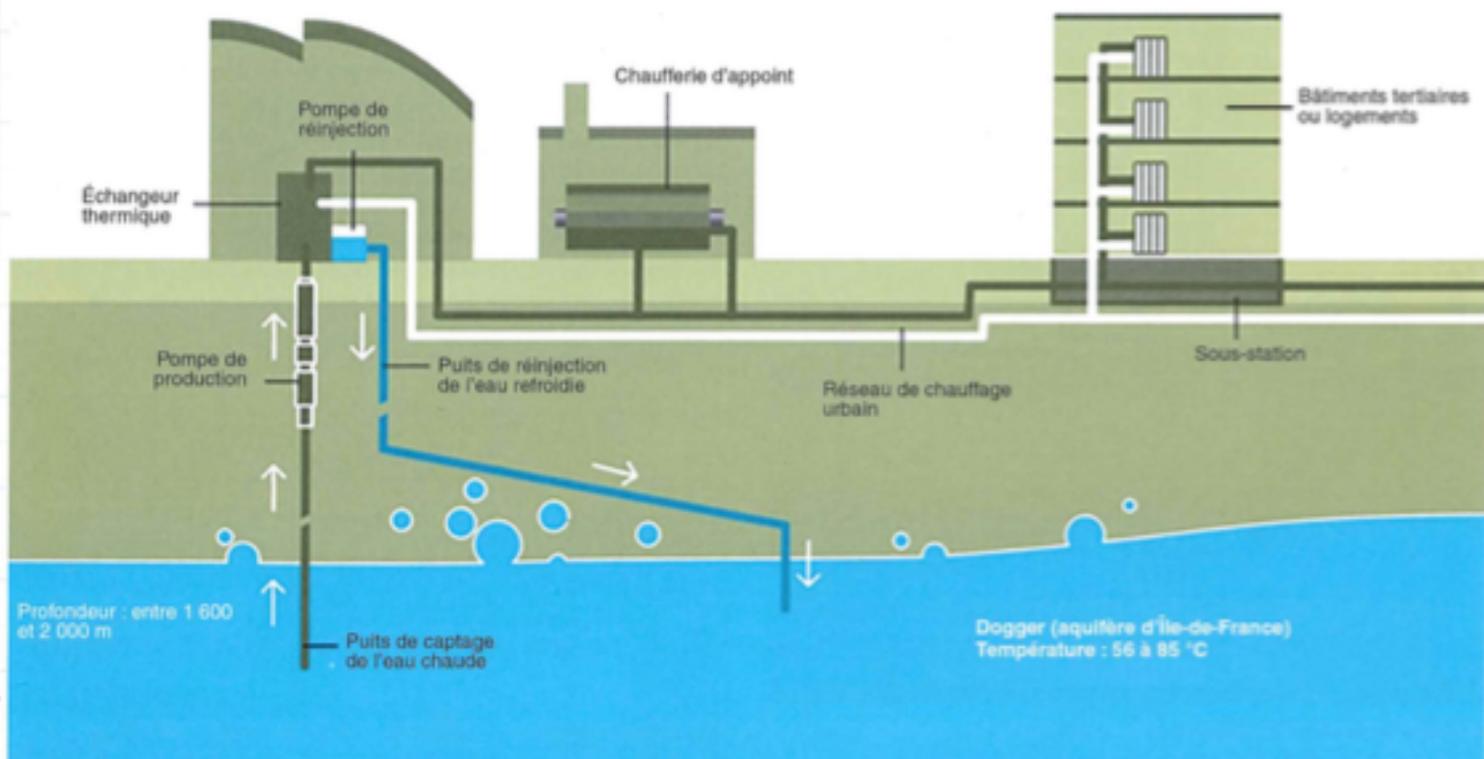
- 1 Pompe, puits de production (rouge), puits d'injection (bleu), tête de puits.
- 2 Centrale géothermique.
- 3 Chaufferie d'appoint.
- 4 Réseau enterré.
- 5 Échangeur pour le chauffage.
- 6 Échangeur pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS).
- 7 Bâtiment chauffé pour radiateurs haute température.
- 8 Bâtiment chauffé par plancher chauffant basse température.
- 9 Piscine chauffée en basse température.

FIG. 11 - Stimulation géothermique (géothermie électrique)



- 1 - Injection d'eau froide à 5 000 m de profondeur par le puits central
- 2 - Circulation d'eau dans les fractures et réchauffement au contact de la roche (200 °C)
- 3 - Extraction de l'eau réchauffée du sous-sol par deux puits de production
- 4 - En surface, transformation par l'intermédiaire d'un échangeur thermique (a) de l'eau chaude du circuit primaire (b) en vapeur dans le circuit secondaire (c) pour entraîner une turbine (d) qui produit de l'électricité (e)

FIG. 10 - La géothermie pour le chauffage urbain (géothermie moyenne température)



Profondeur : entre 1 600 et 2 000 m

Dogger (aquifère d'Île-de-France)
Température : 56 à 85 °C

forage de production et un forage de réinjection, afin d'avoir une boucle fermée. Un seul doublet peut alimenter entre 3 à 6 000 équivalents logements.

Le lusitanien, à 1 300 m de profondeur et à 50 °C environ, est aujourd'hui encore mal connu. De même, les grès du Trias situés entre 1 800 à 2000 m, à une température supérieure à 80 °C, représentent une ressource potentielle importante (figure 10).

2.2 - La géothermie haute énergie (> 150 °C)

La haute énergie est majoritairement utilisée pour produire de l'électricité dans des centrales à vapeur d'eau. La vapeur sort des puits à plus de 150 °C et est envoyée dans une turbine couplée à un alternateur. La cogénération permet de produire chaleur et électricité.

FIG. 12. Réserve naturelle de Bouillante

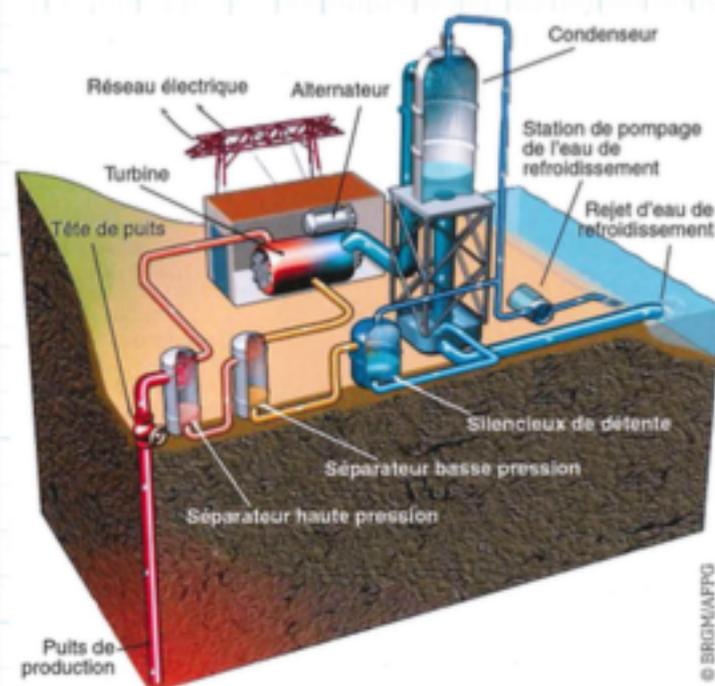
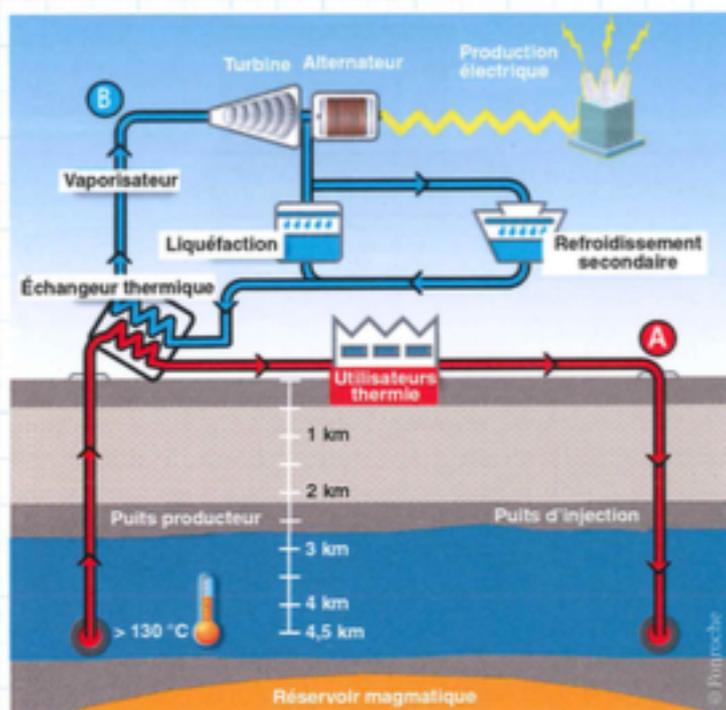


FIG. 13. Géothermie par cogénération



A : Circuit primaire = eau chaude du réservoir

B : Circuit secondaire = fluide colporteur type cycle Rankine

2.2.1 - Géothermie électrique

La géothermie haute énergie – températures supérieures à 100 °C à une profondeur supérieure à 2 500 m – permet la production d'électricité grâce à la vapeur qui jaillit avec assez de pression pour alimenter une turbine.

C'est le cas à Soultz-sous-Forêts en Alsace où se trouve le premier site au monde de géothermie à haute énergie à avoir été raccordé au réseau électrique (figure 11). Depuis 2008, il fournit l'équivalent de 1,5 MW de production nette sur le réseau électrique. De l'eau froide est injectée à 5 000 m par le puits central. Cette eau se réchauffe au contact de la roche chaude pour atteindre une température de 200 °C et remonte en surface à 165 °C via deux puits de production. Via un échangeur thermique, le fluide géothermal transmet ses calories à un fluide intermédiaire qui se vaporise à une température inférieure de 100 °C et permet ainsi de faire tourner la turbine et de produire de l'électricité grâce au transformateur. L'eau est ensuite réinjectée vers deux puits, pour de nouveau se recharger en calories.

À Bouillante en Guadeloupe, le fluide à haute température (250 °C environ) est prélevé au sein d'un réservoir souterrain entre 500 et 1 000 m par plusieurs puits producteurs. Au cours de sa remontée et à son arrivée en surface, ce fluide se vaporise partiellement et se transforme en un fluide diphasique contenant 20 % de phase vapeur et 80 % de phase liquide. Ensuite, ce fluide diphasique est transporté entre la plateforme des puits et le site de l'usine par un système de conduites. Dans la mesure où seule la vapeur est admise au niveau des turbines, une étape obligatoire de séparation des deux phases est réalisée au sein d'un séparateur qui est associé au système de transport. Cette étape est complétée par un passage de la vapeur dans un sécheur pour garantir un titre élevé, avant son admission en turbine. Enfin, une fraction de la phase liquide issue de l'étape de séparation est réinjectée dans le réservoir, afin de pérenniser la ressource géothermale (figure 12).

2.2.2 - Géothermie par cogénération

L'utilisation directe de la chaleur retirée du sous-sol à plus de 2 000 m est efficace, parce que la quasi-totalité des calories produites vont être valorisées. En revanche, il faut pouvoir l'utiliser dans un rayon géographique de quelques kilomètres, de préférence pour une activité qui demande de la chaleur en continu tout au long de l'année, comme les serres ou les piscines. La transformation de la chaleur en électricité permet de gagner en souplesse d'utilisation et en facilité de transport grâce au réseau de distribution existant (figure 13). Mais ce passage du W_{th} au W_{elec} se fait au prix de pertes importantes : le rendement net se situe entre 10 % et 14 %. Une solution d'avenir est donc de coupler des centrales électriques à des réseaux ou micro-réseaux de chaleur et de faire de la cogénération ; on pourrait également envisager de la trigénération en couplant le système à une thermofrigopompe pour produire du froid. ●

La géothermie, en un coup d'œil

	Segment	Principaux équipements/ Structures utilisées	Température de la ressource	Profondeur des forages	Usages
Géothermie de surface	Très basse énergie	Pac géothermiques	Intérieure à 30 °C	Fable : < 100 - 300 m	- Domestique (chauffage et refroidissement)
					- Habitat collectif
Géothermie profonde	Basse et moyenne énergie	Réseaux de chaleur géothermiques	< 90 °C et de 90 à 150 °C	Intermédiaire : < 2 000 m	- Direct pour le chauffage d'un ensemble de bâtiments
					- Chaleur industrielle
	Haute énergie	Centrales de production électrique	> 150 °C	Élevée : > 2 000 m	- Production d'électricité
					- Chaleur industrielle