

FOCUS SUR UNE OPÉRATION FRANCILIENNE : LE CEA à Bruyères-le-Châtel

par René Lucas*

L'installation géothermique du CEA à Bruyères-le-Châtel fonctionne depuis 1982. Puisant une eau à 33 °C dans la nappe du Néocomien, elle permet le chauffage et le rafraîchissement des locaux grâce à des pompes à chaleur. De plus, elle alimente l'ensemble du site en eau potable.

En 1980, après le deuxième choc pétrolier, les besoins importants de chauffage, d'électricité et de réfrigération du Centre d'études du Commissariat à l'Energie Atomique de Bruyères-le-Châtel (CEA/DAM) ont amené leurs responsables à lancer une étude sur la diversification des fournitures d'énergies.

Le BRGM a été alors contacté pour évaluer les possibilités d'utilisation des ressources locales d'énergie géothermale.

Les résultats des études préliminaires ont conclu à la disponibilité d'un débit de l'ordre de 100 m³/h à une température probable de 31 °C dans la nappe du Néocomien, à partir d'un forage de 700 à 800 m.

Cette solution géothermale a été retenue, devant d'autres solutions énergétiques moins intéressantes.

Le niveau de température étant insuffisant pour le chauffage par simple échange, l'utilisation de la ressource géothermale implique la mise en œuvre de pompes à chaleur.

Les résultats de l'étude thermique complémentaire effectuée par le Bureau d'études SAILLY, sur l'optimisation des ressources disponibles, ont conduit à retenir une centrale à chaleur totale, c'est-à-dire :

- l'installation de pompes à chaleur (PAC) pouvant être entraînées **soit par moteurs électriques** soit **par moteurs thermiques** à gaz, eux-mêmes capables de produire de l'électricité ;

- la **récupération des chaleurs fatales** (calories de réfrigération des moteurs et des fumées) dans le réseau de chauffage ;



Moteur électrique - Compresseur

- la récupération des calories ambiantes du local des fumées basses températures dans le circuit des évaporateurs ;

- l'utilisation des PAC en **production de froid pendant l'été**.

L'opération a été montée par le CEA/DAM, avec le BRGM qui assurait l'ingénierie du sous-sol et le Bureau d'études thermiques SAILLY l'ingénierie de surface.

Le forage a été réalisé par la société INTRAFOR-COFOR.

La difficulté du projet résidait en l'absence d'informations locales précises sur la productivité du réservoir géothermal ; en particulier, la très faible granulométrie des sables du Néocomien nécessitait de mettre en œuvre au droit du réservoir un gravier adapté spécialement importé des USA, entre les terrains et le tubage crépiné. Ne connaissant pas à l'avance précisément cette granulométrie, il a fallu mettre en place un système de livraison par avion, déclenchée à la fin du forage. La granulométrie moyenne de la formation inférieure à 2 dixièmes de millimètre a nécessité la mise en œuvre d'un massif de graviers ronds, à plage granulométrique très resserrée, sur 70 m de hauteur environ, la crépine ayant une ouverture de 3 dixièmes de millimètre.

Un élément novateur, qui s'est avéré très important pour la rentabilité de l'opération, est venu du résultat des analyses chimiques qui ont montré la possibilité de potabilisation de l'eau géothermale, solution qui n'avait pas été imaginée. Une simple filtration sur gravier, puis sur résine, permet son utilisation.

Les résultats du forage et des tests hydrogéologiques ont été au-delà des prévisions : le débit potentiel de l'ouvrage est de 200 m³/h, et la température de l'eau de 33 °C.

Les travaux de surface ont été réalisés par l'entreprise CGC ENTREPRISE pour les installations thermiques (pompage et centrale) et par la SAUR pour la station de potabilisation.

Caractéristiques de l'opération :

Le matériel installé est le suivant :

- Crépines : Johnson,
- Pompe géothermale : KSB
- Moteurs à gaz : MANN
- Pompe à chaleur : YORK
- Echangeurs : CEA puis ALFA-LAVAL
- Régulation : SCS

La production d'eau potable a été mise en service en octobre 1982 et les essais de production de chaleur ont été réalisés en juin 1983.

La conception de l'installation a permis à partir de 1984 de profiter des options tarifaires EDF avec la mise à disposition d'un contrat EJP.

Puissance condenseurs des PAC	3 000 kW
Récupération de chaleur des moteurs à gaz	1 500 kW
COP	3.6
Puissance gaz des moteurs	3 300 kW (PCS)
Puissance électrique des alternateurs	960 kW
Débit nominal d'exploitation du forage	100 m ³ /h
Température de l'eau	33 °C
Débit de la station de potabilisation	50 m ³ /h
Débit forage en production eau potable été	50 m ³ /h
Mise en service de la production eau potable	10/1982
Mise en service des pompes à chaleur	06/1983

Évolutions de l'installation :

L'étude initiale avait prévu l'installation de 3 pompes immergées de 50 m³/h dans le forage à une profondeur de 100 m pour une estimation d'un rabattement de 65 m.



Tête de puits et son local

Les batteries de récupération Basse Température sur les gaz d'échappement n'ont pas résisté aux phénomènes de corrosion des condensats. Cette solution technique a été abandonnée.

En 1990, les échangeurs expérimentaux du CEA ont été remplacés par des échangeurs en titane Alfa-Laval.

L'interdiction de la production de CFC appliquée en Europe depuis 1995, a conduit au remplacement du fluide frigorigène (R12 par du R134A).



Condenseurs et évaporateurs

La descente de ces pompes s'étant avérée problématique, deux pompes seulement ont été installées dès l'origine. Le débit d'exhaure étant adapté à la température de rejet (18 °C), la mise au point d'une régulation de pression en tête de puits tenant compte du fonctionnement en cascade des pompes n'a pas été facile.

Ces problèmes ont véritablement été résolus par la mise en place d'une pompe unique associée à un variateur de fréquence en 1987.

Pour ce qui concerne la production de chaleur, le manque de fiabilité des accouplements électromécaniques - permettant de séparer le groupe moteur/alternateur de la PAC électrique - a rapidement nécessité leur suppression. À partir de ce moment (1987), l'alimentation des PAC a alors été assurée par les seuls alternateurs.

L'originalité de ce dispositif mis en service en 1983 vient de sa flexibilité puisqu'il permet de produire de la chaleur, du froid, de l'eau potable, et, (jusqu'en 2001) de l'électricité. Les niveaux producteurs d'eau géothermale du Néocomien (formation du Crétacé) se situent entre 650 et 750 m de profondeur. Le pompage est assuré par une pompe immergée à 100 m pilotée par un variateur de fréquence assurant une pression constante de 6 bars en tête de puits. L'eau est refroidie à 18 °C par des pompes à chaleur qui fournissent environ 40 % de l'énergie nécessaire au chauffage du centre.

Les évolutions des besoins du Centre de Bruyères-le-Châtel, des contrats de fournitures et l'état des installations ont amené en 2000 la mise à l'arrêt définitive des moteurs à gaz pour ne conserver que les pompes à chaleur électriques.

L'exploitation de l'installation a été effectuée directement par le CEA jusqu'en 2003. Depuis cette date, elle a été confiée à l'entreprise assurant l'exploitation et la maintenance des installations de chauffage.

Bilan de l'exploitation :

Pour en optimiser le fonctionnement, la couverture des bâtiments alimentés en chauffage par la centrale a rapidement été étendue à tout le centre (à l'exception d'un bâtiment alimenté en vapeur).

Avant 2001, les prélèvements de chaleur sur la nappe se situent en moyenne à 4 000 MWh/an pour un volume extrait de 500 000 m³.

La production de chaleur annuelle de la centrale géothermique est de **12 000 MWh représentant 40 % des besoins du site**, le reste étant assuré par des chaudières. Ces dernières étaient alimentées initialement par du fioul lourd, et ont été adaptées aujourd'hui pour être alimentées par le gaz.

La production d'eau potable est de 250 000 m³/an soit la totalité des besoins du centre.

Depuis 2001, la production d'électricité ayant été abandonnée, **l'énergie prélevée à la nappe** est en augmentation pour se stabiliser vers **8 000 MWh** pour 600 000 m³ d'eau extraits.

Ainsi, la production géothermique (chaud et froid) annuelle fournie est de 12 000 MWh pour une consommation électrique de 3 300 MWh correspondant à l'alimentation des différents matériels : pompes à chaleur, pompes de circulation, pompe d'exhaure, variateur, ...

Le coût de l'installation se monte à 21,2 MF (valeur 1982) de fonds propres, auxquels s'ajoutent 4,03 MF de subventions (AFME, CCE), soit un montant total de 3,85 M€.

Le bilan économique net (investissement et exploitation) sur 10 ans entre 1983 et 1993 dégage une économie de 27,15 MF (soit 4,13 M€) se répartissant entre les postes budgétaires suivants :

Production chaleur	11,25 %
Production électricité	43 %
Eau glacée	7,09 %
Eau potable	38,66 %

Le délai de retour de l'opération a été de moins de 5 ans (coût moyen du baril de pétrole 1983-1993 : 25 \$). Le rapport du coût d'investissement (1983) au kWh économisé est de 320 €.



Maintenance de la pompe immergée

* René LUCAS
Chef de Service Technique et Logistique
CEA/DAM Ile de France
rene.lucas@cea.fr