

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
B.P. 6009 - 45018 Orléans Cedex - Tél.: (38)63.80.01

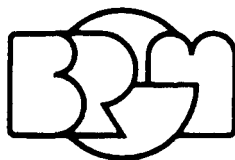


n° 7538-2

ELECTRICITE DE STRASBOURG

UTILISATION THERMIQUE DE LA NAPPE PHREATIQUE D' ALSACE
PAR *DOUBLETS* A AXE VERTICAL

31 Juillet 1980



Service géologique régional ALSACE
204, raite de Schirmeck, 67200 Strasbourg - Tél. : (88) 30.12.62

1. INTRODUCTION.

L'utilisation croissante des eaux souterraines pour le chauffage par pompe à chaleur, en particulier dans l'agglomération strasbourgeoise, nécessite la mise en oeuvre de nouvelles techniques, compte-tenu de l'espace souvent très restreint disponible pour installer les puits du doublet.

Dans certains cas, l'accessibilité est juste suffisante pour réaliser deux puits côte à côte ; de plus, il serait dans certains cas intéressant de ne réaliser qu'un seul puits avec deux zones de crépines séparées par une étanchéité (puits coaxiaux), afin de réduire les colits de forage.

Dans cette optique, il était nécessaire de vérifier la faisabilité de ce type d'ouvrage par quelques calculs hydrothermiques.

Les données et hypothèses de base pour ces calculs ont été formulées par l'E.D.S. et le SCAL ; les calculs ont été réalisés par le Département "Eau" du Service Géologique National (B.R.G.M.).

2. DONNÉES ET HYPOTHÈSES DE BASE,

2.1. La nappe.

- On a supposé dans ces calculs, comme dans les précédents, que la vitesse moyenne d'écoulement de la nappe était de 0,15 m/j (vitesse de Darcy) soit environ 1,5 ni/j de vitesse moyenne réelle, en prenant une porosité cinématique de 10 %.
- L'épaisseur utile d'aquifère, dans Strasbourg, est en moyenne de 70 m (centre ville et bord du Rhin); cette épaisseur diminue ensuite vers Lingolsheim à l'Ouest et vers Mundolsheim au Nord-Ouest ; au Sud et au Nord de l'agglomération, cette épaisseur de 70 m reste à peu près valable.
- L'anisotropie est le rapport entre perméabilités horizontale et verticale $R = Kh/Kv$. Les alluvions rhénanes dans leur ensemble (quand on s'intéresse à plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur) ont une anisotropie de 10 à 50. Si l'on s'intéresse à des strates métriques, leur anisotropie peut être inférieure à 10, mais ce n'est pas le cas pour les forages devant soutirer des débits de plusieurs dizaines (ou centaines) de m³/h.

Cette anisotropie est surtout fonction de la présence des bancs sableux (ou même sablo-argileux) au sein des graviers : plus l'épaisseur d'aquifère intéressée par les ouvrages est grande, plus l'anisotropie globale mise en jeu peut être élevée.

2.2. Le doublet.

- On a limité la longueur crépinée de chaque puits à 10 m et le puits de rejet intéresse toujours les 10 premiers mètres de l'aquifère à partir du niveau piézométrique. Le puits de pompage capte l'aquifère entre 30/40, 40/50 ou 50/60 m de profondeur/niveau statique.
- Le doublet ne fonctionne que pour le chauffage de locaux, soit 7 mois par an. Les calculs utilisent alors 2 débits :
 - le débit réel moyen pompé pendant ces 7 mois,
 - le débit moyen annuel équivalent $Q_m = 7/12 Q$.

- Les calculs ont été réalisés avec des températures moyennes de 13° C au pompage et d° C au rejet. Mais il apparait que pour cette gamme de température, l'intensité du Δt (ici 3° C), n'a pas d'influence sur les calculs (cf 6 3.1.), c'est-à-dire que les résultats qui vont être présentés restent valables pour des Δt plus ou moins grands.

3. MODÈLE MIS EN OEUVRE.

3.1. Généralités.

Le détail du modèle utilisé est donné dans la note technique en annexe. Retenons qu'il s'agit d'un modèle:

- hydrodynamique tridimensionnel en régime permanent, utilisant la théorie des images pour simuler l'influence du toit et du mur de l'aquifère sur les pompages ; ces derniers sont représentés par trois points de pompage équivalents aux 10 m de crêpine.

- hydrothermique convectif (la conduction est négligée dans ces gammes de Δt et de vitesse).

3.2. Remarques.

- Il était nécessaire de mettre en oeuvre un modèle tridimensionnel (et non bidimensionnel vertical comme prévu au départ) pour représenter correctement les phénomènes d'écoulement de la nappe et de propagation du front thermique.
- Les relations analogiques d'anisotropie permettent d'extrapoler les résultats obtenus à différentes valeurs d'anisotropie. facteur \sqrt{R} pour les distances et les vitesses, facteur $R (= Kh/Kv)$ pour les débits.]
- Par contre ces calculs ne sont valables que pour la vitesse d'écoulement de nappe prise en compte. Il est certain qu'avec des vitesses plus élevées, les débits de non-recyclage-limite sont plus élevés, mais cette relation n'est pas directement proportionnelle ; néanmoins, en première approximation, les débits calculés sont proportionnels au débit spécifique de l'aquifère et à la racine carrée de l'anisotropie.

4. RÉSULTATS OBTENUS.

4.1. Résultats des simulations sur modèle.

Les résultats de ces calculs et leur critique sont présentés dans la note technique en annexe, en tenant compte d'un temps de percée thermique maximum de 7 mois pour le débit réel Q et d'un recyclage hydraulique nul pour le débit moyen annuel correspondant $Q_m = 7/12 Q$.

Dans ces conditions, pour $R = 10$ et $v = 0.15$ m/j, le recyclage nul limite le débit :

- pour les faibles distances, par le temps de percée thermique à 7 mois. ,
- pour les fortes distances, par le recyclage hydraulique moyen annuel.

Pour cette configuration, on obtient ainsi :

D (m)	20	30	40
qt, (m ³ /h)	24	52	86

4.2. Extrapolations possibles.

On a tenté de normer les paramètres intéressants de façon à permettre une certaine généralisation de ces calculs à d'autres configurations : ainsi, on peut définir un :

ai facteur de distribution verticale des crépines au sein de l'aquifère,

$$d = \frac{D}{H - 2l} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} D \text{ : distance entre crépines} \\ H \text{ : épaisseur de l'aquifère} \\ l \text{ : longueur des crépines} \end{array}$$

Ce facteur d varie de 0 à 1 et est adimensionnel..

b) rapport de débit, tenant compte de :

Q = débit limite calculé par le modèle.

Q_n = débit naturel de la nappe par mètre de front = H · V_D.

R = anisotropie.

D + 1 = longueur caractéristique du dispositif.

$$q = \frac{2 Q_L}{\pi (D + 1) H V_D \sqrt{R}}$$

On obtient ainsi une relation simple entre ces deux paramètres adimensionnels

$$q = d^{1,06}$$

$$\text{Soit pratiquement } q = d, \text{ ou } Q = \frac{\pi}{2} \frac{D(D+1)}{H-2l} H V_D \sqrt{R} \quad [1]$$

$$\text{ou le paramètre lié à l'aquifère est : } A = \frac{\pi}{2} H V_D \sqrt{R}$$

$$\text{et le paramètre lié au dispositif est : } F = \frac{D(D+1)}{H-2l}$$

Sans préjuger de l'influence de la longueur de crépine, on peut formuler la relation suivante :

$$q = d^{1,07} \text{ avec } q = \frac{Q_L}{2,5 H^2 V_D \sqrt{R}} \text{ et } d = \frac{D}{H}$$

$$\text{soit } Q_L = 2,5 H^2 V_D \sqrt{R} \left(\frac{D}{H}\right)^{1,07} \quad [2]$$

On retrouve bien les valeurs du tableau 1, p. 9 de la note technique ;
Voici le calcul pour les deux extrêmes.

a) H = 70 m

l = 10 m

D = 20 m

V_D = 0,0047 m/j

R = 1

$$Q = \begin{array}{l} 2,5 \text{ m}^3/\text{h} \quad [1] \\ 2,3 \text{ m}^3/\text{h} \quad [2] \end{array}$$

b) H = 70 m

l = 10 m

D = 40 m

V_D = 0,34 m/j

R = 50

$$Q_L = \begin{array}{l} 440 \text{ m}^3/\text{h} \quad [1] \\ 431 \text{ m}^3/\text{h} \quad [2] \end{array}$$

L'extrapolation de ces calculs à d'autres cas donne par exemple :

H = 30 m

l = 5 m

D = 10 m

$V_D = 0,005$ m/j

R = 10

Q < 2.3 m³/h

H = 20 m

l = 5 m

$V_D = 0,1$ m/j

R = 10

$Q_L = 5$ m³/h

D = 8,0 m

Le débit maximum dans un aquifère donné (A fixé) correspond à $D = H^{-21}$, soit $Q = A (H^{-1})$. Il faut également dans ce cas respecter aussi une longueur de crépine minimum pour le débit, soit $l_{min} = \frac{Q}{70 r}$ (r rayon du forage, crépine de 10 %); on obtient ainsi $Q_{max} = \frac{A H}{1 + \frac{A}{M R}}$. Cette formule, appliquée par exemple à la nappe phréatique sous Strasbourg,

$Q_{max} =$	138	208	m ³ /h
$l_{min} =$	6,7	10	m
$D_{max} =$	56	50	m

Ces calculs d'extrapolation ne sont pas rigoureux, mais permettent de fixer des ordres de grandeur pour les paramètres nécessaires à la conception des doublets verticaux.

CONCLUSIONS,

Ces calculs sur modèle tridimensionnel hydrothermique ont permis de préciser les possibilités d'exploiter la nappe phréatique rhénane par doublet vertical. Quelques calculs manuels ont permis, à partir de ces données, d'extrapoler ces résultats à d'autres cas (autres nappes, autres dispositifs): les formules simplifiées obtenues ne sont pas rigoureuses, mais doivent permettre d'approcher les ordres de grandeur des paramètres nécessaires à la mise en oeuvre de ces doublets verticaux.

L'Ingénieur chargé d'étude



Y. BABOT

Le Directeur du Service
Géologique Régional Alrance



J. RISLER

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

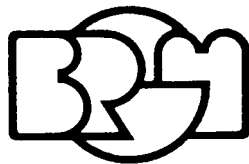
B.P.6009 - 45060 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

NOTE TECHNIQUE 80/9

ETUDE DES DOUBLETS A AXE VERTICAL

par

J.Y. AUSSEUR, A. MENJOZ, JP. SAUTY



Département de l'EAU

B.P.6009 - 45060 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01