

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

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

SOCIÉTÉ DES EAUX DE MARSEILLE

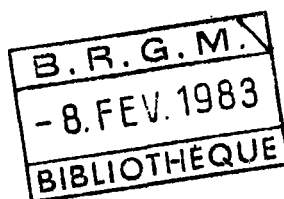
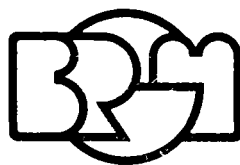
PROJET D'INSTALLATION D'UNE POMPE A CHALEUR EAU/EAU
DANS LES BUREAUX DE LA S.E.M.
RUE DES ACIERIES A MARSEILLE

ETUDE DE PREFAISABILITE HYDROGEOLOGIQUE

par

M. GRAVOST

82 SGN 1015 PAC



Service géologique régional PROVENCE - ALPES - COTE D'AZUR

Domaine de Luminy - route Léon-Lachamp. 13009 Marseille

Tél.: (91) ~~41.26.04~~ et 41.24.46

Décembre, 1982

PROJET D'INSTALLATION D'UNE POMPE A CHALEUR EAU/EAU
DANS LES BUREAUX DE LA S. E. M. ,
RUE DES ACIERIES A MARSEILLE

ETUDE DE PREFAISABILITE HYDROGEOLOGIQUE

par

M. GRAVOST

82 SGN 1015 PAC

Marseille, Décembre 1982

R E S U M E

Dans le cadre d'un financement commun SEM/BRGM, le Bureau de recherches géologiques et minières a évalué, à partir des données disponibles, les potentialités de la nappe alluviale au confluent Huveaune-Jarret en vue de l'installation d'une P A C eau/eau pour le chauffage de bureaux de la S. E. M. Celles-ci semblent suffisamment intéressantes pour que l'on puisse envisager la réalisation d'une étude de faisabilité basée, pour le volet hydrogéologique, sur une reconnaissance par trois sondages équipés en piézomètres et un forage avec pompage d'essai.

TABLE DES MATIERES

RESUME	page 3
1. - INTRODUCTION	7
2. - LE CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	9
3. - LA NAPPE ALLUVIALE	11
3.1. - Piézométrie	11
3.2. - Paramètres hydrauliques	11
3.3. - Débits - Température	12
3.4. - Conclusion	12
4. - CONDITIONS D'UTILISATION D'UN DOUBLET	13
4.1. - Réinjection	13
4.2. - Recyclage	13
4.3. - Conclusion	16
5. - POURSUITE DU PROJET	17
5.1. - Objectifs de la prochaine étape	17
5.2. - Travaux à entreprendre	17
6. - CONCLUSIONS	19

LISTE DES FIGURES

1. Exploitation d'un doublet - Evolution de la température au puits de production dans deux cas de recyclage

LISTE DES ANNEXES

1. Note de calcul

INTRODUCTION

Dans le cadre d'une action de promotion des énergies nouvelles, la Société des Eaux de Marseille et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières étudient la possibilité d'installer, pour le chauffage d'une partie des bureaux de la S. E. M., rue des Aciéries à Marseille, une pompe à chaleur eau/eau utilisant la nappe alluviale de l'Huveaune et du Jarret comme source froide.

Au cours de la phase préliminaire dont il est rendu compte ici, on a recherché si les potentialités de l'aquifère telles qu'on peut les concevoir dans l'état actuel des connaissances étaient compatibles avec les objectifs imposés par les besoins thermiques à savoir :

- * Débit de base 24 m³/h maximum,
- * Temps de pompage 180 j/an,
- * Chute de température Δt de l'ordre de 6° C,
- * Réinjection dans la nappe des eaux refroidies.

Après recherche et analyse des données disponibles, on a étudié les conditions de pompage et surtout de rejet selon diverses hypothèses plausibles de valeur des paramètres hydrauliques de l'aquifère.

Les résultats obtenus étant positifs au stade actuel, on a défini les travaux nécessaires à la poursuite du projet du point de vue hydrogéologique.

LE CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Les installations de la S. E. M., rue des Aciéries, sont construites sur des remblais épais de plusieurs mètres qui recouvrent les alluvions au confluent des vallées de l'Huveaune et du Jarret.

Le substratum imperméable des alluvions est constitué par les formations stampiennes (argiles ou marnes plus ou moins sableuses, poudingues, etc...).

Dans les alluvions on rencontre généralement de haut en bas :

- * 3 à 6 m de limons et argiles sableuses ou sables argileux, peu perméables, recouvrant, ,
- * un niveau perméable, à sable, graviers et galets, épais de 1 à 3 ou 4 m. Ce niveau constitue généralement la base des alluvions et repose directement sur
- * le substratum stampien épais de plus de 100 m.

Toutefois, dans les deux ouvrages les plus proches du site (dont l'un, 1044.5.304, a été réalisé sur le site même), l'épaisseur des niveaux graveleux perméables serait réduite à 1,3 et 0,8 m.

La nappe contenue dans les alluvions constitue la seule ressource en eau souterraine connue localement.

L'épaisseur totale des terrains concernés est comprise entre 7 et 12 m.

3

LA NAPPE ALLUVIALE

3.1. - PIEZOMETRIE

Elle est connue au Sud et au Nord du secteur étudié. Le niveau de l'eau se tient entre 2 et 7 m sous la surface du sol. La nappe s'écoule du Nord au Sud dans la vallée du Jarret, de l'ENE vers l'WSW dans la vallée de l'Huveaune, avec un gradient de l'ordre de 5.10^{-3} environ.

Au confluent, la direction d'écoulement est probablement intermédiaire avec un gradient du même ordre, mais des données plus précises seront nécessaires en cas de poursuite du projet.

A l'aplomb du site le niveau moyen de l'eau avoisine la cote + 10 m NGF et se trouverait donc vers 7 m de profondeur.

L'amplitude de ses fluctuations annuelles serait de l'ordre de 0,7 à 1 m d'après les observations réalisées dans la basse vallée de l'Huveaune, au Sud du site.

3.2. - PARAMETRES HYDRAULIQUES

La nappe circule principalement dans les niveaux perméables de la base des alluvions où elle se trouve en position captive sous les limons.

Accessoirement, des circulations sont possibles au niveau des remblais, mais elles ne sauraient être prises en compte en première analyse en raison de leur caractère aléatoire.

La perméabilité des niveaux graveleux peut atteindre ou dépasser 5.10^{-3} m/s. Un forage (n° IRH 1044.5.199) situé à 200 m au Sud des installations de la S. E. M. a tiré 8 m³/h avec un rabattement de 0,6 m, d'un niveau graveleux épais de 1,5 m.

Compte-tenu des pertes de charges probables, de telles performances ne sont possibles qu'avec un coefficient de perméabilité de l'ordre de 0,4 à $0,6.10^{-2}$ m/s.

La nappe se trouvant en position captive sous les limons, le coefficient d'emmagasinement à prendre en compte est de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-3} au maximum (cf. note de calcul en annexe).

3.3. - DEBITS - TEMPERATURE

Des débits de plusieurs dizaines de mètres cubes par heure sont courants dans les alluvions de l'Huveaune. A proximité du secteur concerné, outre l'exemple cité plus haut, on a relevé un débit de 13 m³/h à 600 m au SSE (1044.5.236) et 20 m³/h pour 5 m de rabattement à 200 m au NW (1044.5.286).

Les estimations que nous avons faites (cf. note calcul en annexe) sont en accord avec ces valeurs.

Compte-tenu de la profondeur de la nappe, la température de l'eau est vraisemblablement voisine de 14° C, voire 15° C en raison de l'environnement urbain étendu à l'amont du site.

3.4. - CONCLUSION

Dans l'état actuel des connaissances, l'objectif de 24 m³/h obtenus à partir d'un ou deux ouvrages exploitant la nappe alluviale apparaît comme raisonnable.

CONDITIONS D'UTILISATION D'UN DOUBLET

Le pompage d'un certain débit étant admis comme possible, le fonctionnement du circuit primaire d'une P A C à partir d'un doublet pose deux problèmes :

- * la réinjection du débit prélevé,
- * le recyclage des eaux réinjectées.

4.1. - REINJECTION

Pour des raisons encore mal élucidées, le rendement des forages ("débit spécifique" au sens algébrique du terme) est fréquemment inférieur à l'injection par rapport au pompage : un débit donné demande alors pour être injecté une charge supérieure au rabattement nécessaire à son extraction du même ouvrage.

Dans le cas présent, cet inconvénient peut ne pas avoir de conséquences économiques.

En effet, dans l'hypothèse où des débits de 20 à 30 m³/h peuvent être obtenus avec des rabattements de 2 à 5 m (cf. ci-dessus § 3.3. et note de calcul), leur réinjection doit pouvoir se faire avec des charges supérieures d'environ 40%, soit de 3 à 7 m, c'est à dire avec un niveau d'injection voisin de la surface du sol (le niveau piézométrique de la nappe doit se trouver vers 7 m de profondeur, cf. § 3.1.)

4.2. - RECYCLAGE

Le recyclage est une fonction complexe du débit d'exploitation, de la transmissivité, du gradient hydraulique, de la porosité et de l'épaisseur

de la nappe ainsi que de l'écartement des ouvrages* et de l'orientation du dispositif par rapport à l'axe d'écoulement de la nappe.

Nous avons examiné diverses combinaisons d'hypothèses plausibles compte tenu des connaissances actuelles, en admettant dans tous les cas un gradient hydraulique de 5‰. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

ENTRAXE DU DOUBLET	Transmissivité en $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$			
	10	7,5	5	1
75 m		Pas de recyclage	Recyclage	
100 m				
150 m				

On voit que, pour l'entraxe maximum possible du doublet, 150 m, il peut ne pas y avoir de recyclage sous réserve que les niveaux graveleux relativement minces qui existeraient sous le site (cf. § 2) aient des perméabilités supérieures à $4 \text{ à } 6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ (cf. note de calcul).

Nous avons étudié deux cas de recyclage dans l'hypothèse où l'eau est réinjectée à température constante dans un forage distant de 150 m de l'ouvrage de pompage :

- 1er cas.

Epaisseur de l'aquifère, 2 m

Transmissivité $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Porosité, 10%

* Le taux de recyclage diminue lorsque l'écartement des ouvrages augmente. On a donc intérêt à choisir, toutes choses égales d'ailleurs, l'écartement (entraxe) maximum, ce qui n'est pas toujours possible en pratique en raison des limites de propriété ou pour des questions de coût. Présentement, les limites de la parcelle autorisent un entraxe maximum de 150 m.

Fig.1

EXPLOITATION D'UN DOUBLET EVOLUTION DE LA TEMPERATURE AU PUIS DE PRODUCTION DANS DEUX CAS DE RECLYCLAGE

Hypothèses communes

Entraxe du doublet : 150 m
Gradient hydraulique : $5 \cdot 10^{-3}$
Température initiale : 15°C
Chute de température initiale : 6°C

Hypothèses particulières

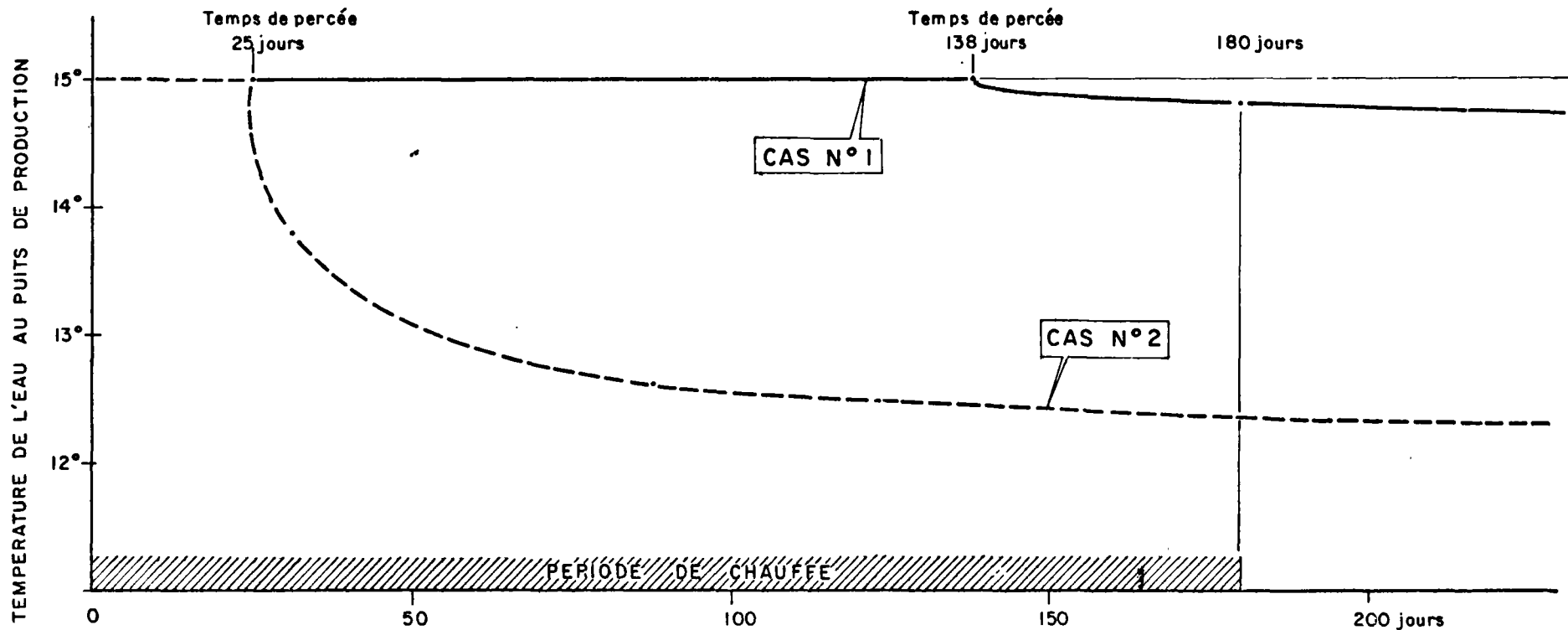
Transmissivité en $10^{-3}\text{ m}^2/\text{s}$
Epaisseur de la couche aquifère
Porosité de la couche aquifère

CAS N°1

4
2 m.
10%

CAS N° 2

1
1 m.
5%



- 2ème cas.

Epaisseur de l'aquifère, 1 m

Transmissivité 1.10^{-3} m/s.

Porosité 5%

La figure 1 montre l'évolution de la température au puits de production avec un Δt initial de 6° C et une température de nappe de 15° C.

On voit que dans le 1er cas, le front froid atteint le puits de production au bout de 138 jours (temps de percée) et qu'à l'issue de la saison de chauffage la température s'est abaissée d'environ 0,2° C seulement ce qui ne perturbera que faiblement les installations de surface.

Par contre, dans le second cas, le front froid atteint le puits de production dès le 25ème jour de fonctionnement et à la fin de la saison de chauffage la température de l'eau pompée s'est abaissée de 2,7° C ce qui posera des problèmes (solubles) au niveau de la P A C. Les calculs menés avec une porosité de 10% donnent des résultats identiques à 4% près; l'importance de ce facteur est donc faible devant celle de la transmissivité qui, à gradient hydraulique constant, est déterminante.

Par ailleurs, en théorie, le gradient hydraulique intervient de la même façon que la transmissivité*, aussi la faisabilité du projet reposera-t-elle sur une détermination aussi précise que possible de ces deux paramètres.

4.3. - CONCLUSION

L'analyse des données disponibles montre que l'exploitation par un doublet de forages de la nappe alluviale comme source froide d'une P A C pour le chauffage des installations de la S.E.M. rue des Aciéries peut être envisagée avec des chances raisonnables de succès.

* Ce facteur n'est susceptible de varier que dans des proportions plus faibles que la transmissivité, c'est pourquoi nous n'avons envisagé qu'une hypothèse en accord avec les données disponibles.

POURSUITE DU PROJET

La préfaisabilité du projet étant acquise au plan hydrogéologique, sa faisabilité reste à démontrer à cet égard avant de passer à la phase finale qui verrait la réalisation des ouvrages d'exploitation et la mise en place des installations.

5.1. - OBJECTIFS DE LA PROCHAINE ETAPE

Au cours de cette étape on devra déterminer le gradient hydraulique (valeur et direction) la valeur de la transmissivité, l'épaisseur de l'aquifère, et affiner les calculs hydrodynamiques et thermiques sur lesquels sera basé le projet.

5.2. - TRAVAUX A ENTREPRENDRE

Ils seront réalisés par tranches, l'exécution d'une tranche dépendant des résultats de la précédente :

1) Réalisation de 3 sondages équipés en piézomètres afin de :

- préciser l'épaisseur et la nature des alluvions,
- déterminer le gradient hydraulique.

Si les résultats sont jugés positifs :

2) Exécution d'un forage d'essai et d'un pompage d'essai afin de déterminer les paramètres hydrauliques de la couche aquifère et d'estimer la faisabilité du projet.

L'ouvrage aura les caractéristiques géométriques d'un forage d'exploitation et sera utilisé comme tel en cas de succès.

On passera alors à l'étape de réalisation proprement dite qui comprendra :

3) Exécution du forage de réinjection, de mêmes caractéristiques que le forage d'exhaure.

CONCLUSIONS

Les données actuellement disponibles permettent d'envisager l'utilisation de la nappe alluviale comme source froide d'une pompe à chaleur eau/eau pour le chauffage d'une partie des installations de la S. E. M. rue des Aciéries à Marseille.

La faisabilité du projet au plan hydrogéologique ne pourra toutefois être établie qu'au vu des résultats d'une reconnaissance par sondages équipés en piézomètres et forage avec pompage d'essai. En cas de succès, ce dernier ouvrage sera intégré comme forage d'exhaure au circuit primaire de la P A C qui comportera en outre, un forage identique pour la réinjection de l'eau froide. Le suivi géologique des travaux est indispensable en vue de l'interprétation des résultats à tous les stades de la réalisation.

NOTE DE CALCUL

x x

x

ESTIMATION DES PARAMETRES HYDRAULIQUES

1. Transmissivité

Le tableau ci-dessous présente en 10^{-3} m²/s les valeurs de transmissivité correspondant à différentes combinaisons de valeurs de perméabilité K et d'épaisseur C de la couche aquifère, compatibles avec les connaissances actuelles :

EPAISSEUR C en m	PERMEABILITE K en 10^{-2} m/s				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0					
0,5	1	2	3	4	5
1	2	4	6	8	DOMAINE DE COMBINAI- SONS PEU REALISTES
1,5	3	6	9		
2	4	8			
3	6				

Les valeurs plausibles peuvent donc osciller entre 1 et $9 \cdot 10^{-3}$ m²/s.

2. Porosité - Coefficient d'emmagasinement

La porosité intervient principalement sur les déplacements d'eau. Dans des formations très hétérométriques telles que les niveaux à éléments grossiers de l'Huveaune, elle est généralement comprise entre 5 et 10%.

Le coefficient d'emmagasinement est différent de la porosité (efficace) en nappe captive et généralement de l'ordre 10^{-4} à 10^{-3} selon les propriétés hydrauliques des épontes.

3. Influence des fluctuations du niveau de l'eau

On admet, compte-tenu de leur amplitude et de la profondeur du niveau aquifère captif, qu'elles ne risquent pas de provoquer son dénoyage et qu'elles sont indifférentes vis à vis des pompages éventuels.

ESTIMATION DU DEBIT D'UN FORAGE

On se fixe comme hypothèse un coefficient d'emmagasinement de 10^{-4} , un jeu de transmissivités plausibles, et l'on calcule, selon la formule d'approximation logarithmique de Jacob(*), le débit produisant un rabattement de valeur donnée dans l'ouvrage au bout de 180 jours de pompage. On suppose par ailleurs, qu'il n'y a pas de pertes de charge parasites. Les débits ainsi calculés sont donnés dans le tableau ci-dessous en m³/h.

RABATTEMENT en m	TRANSMISSIVITE en 10^{-3} m ² /s		
	1	4	9
1	1,9	7,2	15,7
2	3,8	14,4	31,3
4	7,6	28,7	62,6

On voit qu'à condition de recouper des chenaux suffisamment perméables et épais (anciens lits du Jarret ou de l'Huveaune) des débits de 15 à 30 m³/h peuvent être extraits dans des conditions raisonnables d'un ou deux ouvrages.

(*)
$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \quad \text{Log} \quad \frac{2,25 T t}{R^2 S} \quad \text{ou} \quad Q = \frac{\Delta T}{0,183 \log \frac{2,25 T t}{R^2 S}}$$

avec Δ rabattement T transmissivité t temps de pompage
 Q débit S coefficient d'emmagasinement

R rayon du forage
 (0,125 m)