

**AGENCE FINANCIÈRE DE BASSIN
"SEINE-NORMANDIE"**

**ÉTUDE DE LA TEMPÉRATURE DES NAPPES PEU PROFONDES
A PARIS ET DANS LA BANLIEUE NORD**

par

Ph. DIFFRE, G. MARQUET, M. RICHARD



**BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL**

B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex – Tél.: (38) 63.80.01

Service géologique régional BASSIN DE PARIS

65, rue du général-Leclerc – B.P. 34, 77170 Brie-Comte-Robert

Tél.: (1) 405.27.07

77 SGN 320 BDP

Brie-Comte-Robert, juin 1977

ETUDE DE LA TEMPERATURE DES NAPPES PEU PROFONDES
A PARIS ET DANS LA BANLIEUE NORD

RESUME

Pour mieux connaître les possibilités d'utilisation des eaux des nappes semi-profondes sous Paris, l'Agence financière de bassin Seine-Normandie a demandé au Bureau de recherches géologiques et minières, Service géologique régional Bassin de Paris, d'effectuer un relevé synchrone des températures, au 1/5 de degré centigrade, sur des ouvrages disponibles.

Les mesures ont été effectuées en février 1977 sur 87 forages de 30 à 100 m de profondeur exploitant les eaux du calcaire grossier lutétien et des sables du Soissonnais yprésiens. Les températures comprises entre 12,2 et 18,2°C (valeur médiane voisine de 14°C) sont généralement supérieures à la température atmosphérique moyenne (11 à 12°C).

Les eaux les plus chaudes proviennent des forages situés à proximité des puits de réinjection. La plupart des autres points chauds sont situés à proximité de la Seine à moins de 50 m de profondeur.

L'influence du fleuve a été sans doute particulièrement importante à la suite de l'été 1976 exceptionnellement chaud.

SOMMAIRE

TEXTE

RESUME

1 - INTRODUCTION	1
2 - GENERALITES SUR LES FACTEURS INFLUENÇANT LA TEMPERATURE DES NAP- PES PEU PROFONDES	2
21 - Température atmosphérique	2
22 - Réactions géochimiques	2
23 - Influence thermique des rivières sur les nappes	3
24 - Forages de réinjection	4
3 - FACTEURS INFLUENÇANT LA TEMPERATURE DES NAPPES A PARIS	5
31 - Les forages de réinjection	5
32 - La Seine	6
33 - Ouvrages souterrains	7
4 - METHODES DE MESURE	8
41 - Choix des forages	8
42 - Thermomètres	8
43 - Mesures à l'intérieur de quelques forages à l'aide d'une sonde à thermistance	9
5 - TEMPERATURES MESUREES EN FEVRIER 1977	13
51 - Influences des réinjections et de la Seine	13
52 - Mesures périodiques sur un forage rue Réaumur	18
6 - CONCLUSIONS	19
BIBLIOGRAPHIE	21

FIGURES DANS LE TEXTE

Figure 1 - Mesures de température à différentes profondeurs dans quelques forages	10
Figure 2 - Température de l'eau refoulée et température à l'intérieur du tubage - mesures sur le forage 3B.30 à La Courneuve ..	11
Figure 3 - Répartition des températures en fonction de la profondeur	14
Figure 4 - Répartition des températures à moins de 50 m de profon- deur en février 1977	15
Figures 5 et 6 - Température dans les forages de la S.L.E.E. à Vil- leneuve-la-Garenne et distance à la Seine	17

ANNEXES

- Annexe 1 - Forages de réinjection répertoriés à l'Agence financière de bassin Seine-Normandie.
- Annexe 2 - Fiche de terrain.
- Annexe 3 - Contrôle des concordances des thermomètres utilisés.
- Annexe 4 - Températures mesurées dans les forages en pompage.

PLANCHE EN POCLETTE

- Planche 1 - Forages mesurés en février 1977.

1 - INTRODUCTION

Depuis quelques années, dans Paris et la banlieue nord on a constaté que la température des eaux des nappes semi-profondes était, dans certaines zones, supérieure à la normale. Pour mieux connaître les possibilités d'utilisation des eaux de ces nappes pour la climatisation, l'Agence financière de bassin Seine-Normandie a chargé le Bureau de recherches géologiques et minières, Service géologique régional Bassin de Paris, d'effectuer un relevé synchrone, au 1/5 de degré centigrade, sur une soixantaine d'ouvrages en pompage pour établir un constat de la répartition actuelle de la température.

Les mesures ont été faites sur des forages de 30 à 100 m de profondeur exploitant les eaux du calcaire grossier (Lutétien) et des sables du Soissonnais (Yprésien). Ces deux niveaux aquifères, sans séparation imperméable continue, contiennent la nappe la plus utilisée de la région appelée généralement nappe de l'Eocène inférieur.

Le secteur d'étude comprend Paris rive droite et les communes de banlieue jusqu'à Vincennes, Noisy-le-Sec, Aulnay-sous-Bois, Blanc-Mesnil, Saint-Denis, Epinay-sur-Seine et Neuilly-sur-Seine, c'est-à-dire la zone synclinale située au Nord de la Seine.

2 - GENERALITES SUR LES FACTEURS INFLUENÇANT LA TEMPERATURE DES NAPPES PEU PROFONDES

21 - TEMPERATURE ATMOSPHERIQUE

A partir de plus de 3.000 mesures C.E. VAN ORSTRAND (COLLINS - 1925) (2) avait observé que dans des conditions normales, la température des eaux souterraines prélevées entre 9 et 18 m de profondeur était de 1 à 1,7 degré centigrade supérieure à la température moyenne de l'air. Un résultat identique a été obtenu dans la région d'Albany (Etat de New York) par R.C. HEATH (8) pour la zone saturée située entre 2 et 5 m de profondeur. Un graphique établi par cet auteur montre qu'à 5 m de profondeur, la température est maximale en novembre (et non pas en août) et minimale en mai (et non pas en janvier).

La plupart des auteurs pensent que les variations thermiques annuelles deviennent négligeables au-delà de 15 à 20 m de profondeur.

22 - REACTIONS GEOCHIMIQUES

Aux Etats-Unis LOVERING et GOODE (9) ont étudié le gradient thermique à faible profondeur dans une région constituée de lutites et calcaires comprenant des gisements de sulfures au niveau de la nappe (District de Tintic - Utah). Des sondages de 1 à 18 m ont été forés à proximité de forages existants plus profonds. Dans les zones sans sources de chaleur locale, ils ont mesuré des gradients compris entre 0,02 et 0,036° pour un mètre. Les gradients mesurés dans un forage de 300 m situé à proximité étaient très semblables à ceux mesurés entre 6 et 18 m de profondeur. Dans

certaines sondages, les gradients étaient beaucoup plus forts : 0,07° et 0,09° pour 1 m. Ils ont attribué ces anomalies à la présence de pyrites diffuses dans les latites et qui dégagent de la chaleur en s'oxydant.

Ces dépôts de sulfures, de quelques mètres ou dizaines de mètres de diamètre, pourraient augmenter le gradient de 1°C pour 50 m à 1°C pour 7 m en particulier dans les zones où ils ont été atteints par les travaux miniers.

23 - INFLUENCE THERMIQUE DES RIVIERES SUR LES NAPPES

Dans l'état de New York, WINSLOW (13) a étudié les effets thermiques de la rivière Mohawk sur la nappe alluviale de Schenectady. En 1960-1961, la variation annuelle de la température de l'eau des alluvions a été de l'ordre de 5°C à 300 m de la berge. Les pompages d'un champ captant attirent plus loin les eaux influencées. Cet auteur fait remarquer que pendant l'hiver la viscosité de l'eau de la rivière est presque deux fois plus forte que pendant l'été. Par conséquent, la perméabilité effective du matériau constituant le fond de la rivière est pratiquement 2 fois plus forte en été qu'en hiver. La recharge en eau chaude serait donc plus importante que la recharge en eau froide.

R. SCHNEIDER (12) indique des résultats du même ordre pour 6 stations de pompage situées à proximité de rivière. Pour des variations annuelles de température de 24 à 29°C dans la rivière (en moyenne 27°C), les variations dans la nappe ont atteint 8 à 18 degrés (en moyenne 13°C). Les cycles de température des eaux souterraines étaient décalés de 1 à 5 1/2 mois par rapport aux cycles de température de la rivière. Le transfert d'eau froide est plus lent (2 à 5 1/2 mois) que le transfert d'eau chaude (1 à 3 mois) par suite des débits d'exploitation plus importants en été qu'en hiver et de la viscosité plus faible en période chaude.

24 - FORAGES DE REINJECTION

Des observations sur leur influence ont été faites aux Etats-Unis en 1941 par BRASHEARS (1) à Long Island près de New York. Des mesures avaient été faites périodiquement sur 350 forages entre 1936 et 1940 par U.S. Geological Survey dans une zone de 120 km² dans laquelle le débit d'eau chaude réinjectée était passé de 80 à 4.700 m³/h. Après 4 ans, le réchauffement de la nappe avait atteint par endroit 20°F soit un peu plus de 11°C.

Sur l'ensemble de la nappe, le réchauffement n'était que de 1 à 3°C comme l'indiquent ces valeurs moyennes :

- nappe à l'origine : de 11,1 à 13,3°C
- en 1936 puits proches : 13,7°C
- puits éloignés : 13,2°C
- en 1940 puits proches : 14,9°C
- puits éloignés : 13,4°C

Les augmentations les plus sensibles n'étaient apparues qu'à proximité des forages de réinjection.

En France, des mesures effectuées dans la région de Lille (RAMOND, PHILIPPART) (8) ont montré des réchauffements analogues dus à des réinjections.

Des études expérimentales sont en cours au B.R.G.M. sur le site de Bonnaud (Jura) dans une nappe captive de 4 m d'épaisseur à 4 m de profondeur. Ce site est équipé d'un certain nombre de puits d'observations situés entre 6 et 13 m d'un puits central. Un dispositif constitué par deux lignes de pointes filtrantes permet de créer un gradient piézométrique. Une centrale de production d'eau chaude permet de réchauffer jusqu'à 40° l'eau prélevée dans la nappe, avant de l'injecter dans l'aquifère. L'évolution des températures dans la nappe et les égouts est suivie en continu par une centrale de mesures, mise au point à partir de l'appareil SOPHIS du B.R.G.M.

3 - FACTEURS INFLUENÇANT LA TEMPERATURE DES NAPPES A PARIS

A l'observatoire de Paris - Saint-Maur, la température moyenne de l'air entre 1931 et 1960 a été de 11,3°C.

Des mesures effectuées de façon plus ou moins continue à 28 m de profondeur, au-dessus de la nappe, dans les caves de l'observatoire depuis 1671 indiquent une température moyenne de 12°C (ESCLAGON - 1944) (3). Les faibles oscillations autour de cette valeur (11,8° à 12,9°) seraient dues à une oscillation de la température de l'air de très grande période "en accord avec les variations d'ensemble des glaciers alpins qui ont passé il y a un siècle par une phase de crue très importante et sont actuellement en recul" (GOGUEL - 1945) (5).

31 - LES FORAGES DE REINJECTION

Dans la Région parisienne, 8 forages utilisés pour réinjecter de l'eau réchauffée sont déclarés à l'Agence financière de bassin Seine-Normandie qui attribue à leur exploitant une prime pour réinjection.

Les eaux réchauffées sont réinjectées entre 16° et 22°. Les volumes comptabilisés en 1976 sont indiqués sur le tableau de l'annexe 1. La plupart sont couplés avec un forage de production.

Pour l'un de ces doublets (copropriétaires du 31 rue du Colisée à Paris), nous avons eu l'occasion de constater en 1975 que, après quelques années de fonctionnement, l'eau pompée avait été réchauffée de plusieurs degrés par l'eau réinjectée à 60 m environ de distance.

Des études sur modèle ont indiqué des réchauffements du même ordre de grandeur dans plusieurs cas à Paris (GRINGARTEN, SAUTY - 1975) (6) et (GRINGARTEN, LANDEL, PEAUDECERF - 1976) (7).

32 - LA SEINE

La température de la Seine n'a pas encore fait l'objet d'étude systématique sur plusieurs années à notre connaissance. De nombreuses mesures ont cependant été faites en différents points.

D'après la Compagnie générale des eaux, les températures moyennes mensuelles à 8 h à Choisy-le-Roi ont été les suivantes pour la période 1962 - 1975 :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
5,2	6,3	8,5	11,8	15,9	19,2	21,3	21,2	18,5	15,6	9,8	6,3°

D'après le Service de contrôle des eaux de la Ville de Paris, en 1971, les températures moyennes à Orly et Ivry ont été respectivement :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Orly	4,1	6,1	6,8	14	17,9	18,4	22,6	21,8	18	15,2	9,1	7,2°C
Ivry	5,7	7,1	7,5	15	19,4	19,2	24,1	23,4	20,9	19	13,7	10,1°C

La même année, les températures de l'air à Paris-Montsouris avaient été :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
4,2	5,7	5,1	12,1	16,2	16	20,8	19,1	17	13	6,6	5,3

Il semble donc que l'eau de la Seine soit généralement plus chaude que celle de l'air, de 1° de plus en hiver à 3° de plus en été.

En 1976, elle a été particulièrement chaude comme l'indiquent les valeurs ci-dessous (communiquées par l'Agence financière de bassin Seine-Normandie) :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Choisy-le-Roi	5,8	4,3	8,5	13,5	19	22,5	21,6	21,6	18,7	13,5	10	4,8
Marne à Joinville-le-Pont	9,2	3	5,7	12,3	20,2	27,2	27	25	19,2	20	12,5	6,3
Pont de Tolbiac	9,1	4,2	7,1	15,2	20,2	27,5	28	27	21,2	20,6	11,4	6,3
Pont de Bir Hakeim	8			19			27,5	26	21	19	12,5	8,5
Pont de Suresnes			10,4			23,2			20,2			5,4

33 - OUVRAGES SOUTERRAINS

En plus de l'effet urbain proprement dit en surface (immeubles chauffés, moteurs thermiques, chaleur animale), un supplément de calories est apporté au sous-sol peu profond par les nombreux ouvrages souterrains existants :

- tunnels du métro,
- égouts et collecteurs,
- canalisation du chauffage urbain,
- caves et sous-sols chauffés.

La production de chaleur par la prise du ciment des ouvrages souterrains n'est peut-être pas négligeable.

On peut signaler également les oxydations exothermiques des pyrites des sables et argiles yprésiens, telles qu'elles ont été constatées lors du creusement du R.E.R. sous la Porte Maillot. Il est assez rare que ces niveaux soient aérés, la nappe y étant captive en général.

4 - METHODES DE MESURE

41 - CHOIX DES FORAGES

Les mesures ont été faites sur des forages en service, dont les coupes sont connues (profondeur des crépines, nature des aquifères). La température a été mesurée à la sortie du forage, après une heure au moins de pompage, de façon à obtenir l'eau du terrain, et à éviter les influences extérieures ou les courants de convection (x). L'eau était alors réchauffée par une certaine quantité du travail de la pompe, fonction du rendement de cette dernière et des turbulences. Les installations de pompage étant à peu près toutes du même type (pompe immergée électrique), on peut penser que le réchauffement a été analogue sur tous les forages (voir 43).

Les renseignements sur les conditions d'emploi du forage au moment des mesures ont été notés sur les fiches de terrain (voir annexe 2).

En plus des 60 forages prévus, on a pu mesurer le même jour les 14 forages du champ captant de la S.L.E.E. à Villeneuve-la-Garenne exploitant séparément les calcaires lutétiens et les sables yprésiens.

42 - THERMOMETRES

Les mesures ont été faites à l'aide de 5 thermomètres (Prolabo) gradués au $1/10^{\circ}$ de degré, immergés dans l'eau s'écoulant de robinets situés le plus près possible (quelques mètres) de la tête du forage en exploitation. Des lectures simultanées périodiques pour vérifier leur concordance ont montré que, dans l'eau, les écarts étaient généralement inférieurs à

(x) D'après SAMMEL (1968) (11), il existe des courants de convection pour un gradient de $0,036^{\circ}/m$ et une température de l'ordre de $12^{\circ}C$ si le diamètre du forage dépasse $2'' 1/2$.

1/10° de degré (voir annexe 3).

43 - MESURES A L'INTERIEUR DE QUELQUES FORAGES A L'AIDE D'UNE SONDE A THERMISTANCE

Pour vérifier la représentativité des mesures faites au thermomètre sur l'eau refoulée par les pompes et pour mieux connaître la répartition de la température à l'intérieur des forages du type concerné (30 à 100 m de profondeur, diamètre de l'ordre de 10 à 20 pouces), des logs de température ont été faits dans 7 ouvrages disponibles :

- pendant pompage (183.3B.30, 3B.42, 7A.232, 7A.49),
- arrêtés depuis quelques heures (3B.30, 3C.20),
- hors service depuis plusieurs mois (3C.8).

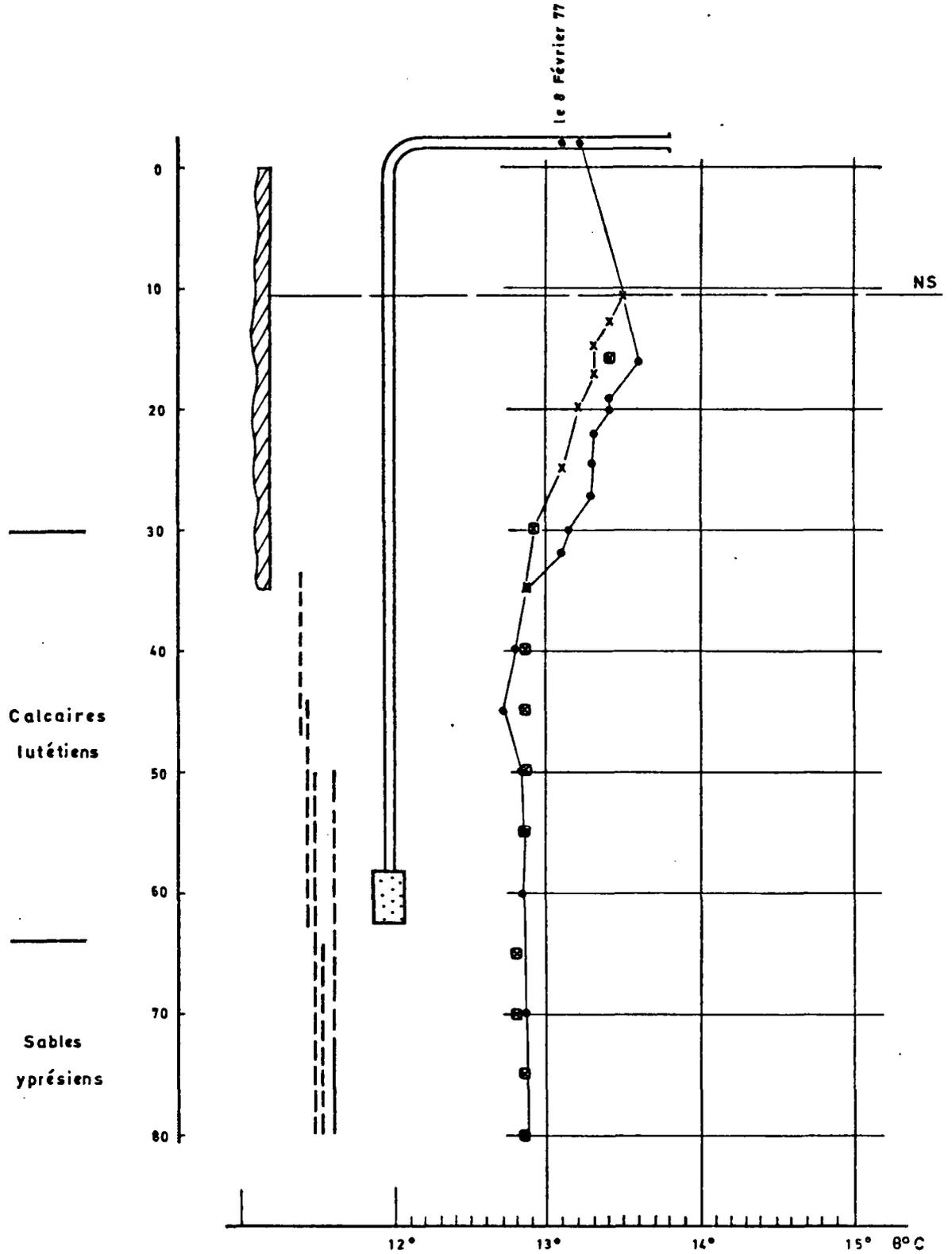
Le forage 2D.427, doublé d'un forage de réinjection situé à 60 m, a également été mesuré ; l'ouvrage de réinjection était alors hors service depuis 15 jours ; à l'intérieur du forage de réinjection, l'eau était cependant encore à plus de 20°C.

Toutes ces mesures ont été faites à l'aide d'une sonde OTT. Les résultats sont pointés sur les figures 1 et 2.

Dans tous les forages, sauf dans le 3C.8, abandonné depuis longtemps, on a observé, en pompage comme au repos, une température plus élevée dans la partie supérieure (0,2 à 1°C en plus).

On note que la température mesurée au thermomètre sur l'eau refoulée est généralement un peu plus élevée que celle mesurée au fond, mais reste inférieure à celle trouvée dans la partie supérieure du forage. La différence est de l'ordre de 3/10° de degré dans le cas du forage 3B.30 (fig. 2). Ce réchauffement est sans doute dû au travail de la pompe.

TEMPERATURE DE L'EAU REFOULEE ET TEMPERATURE A L'INTERIEUR DU TUBAGE. MESURES SUR LE FORAGE 3B 30 A LA COURNEUVE



- x La pompe étant arrêtée depuis 2 heures le 27.5.77
- Pendant pompage le 10.6.77
- ⊗ Après arrêt de la pompe le 10.6.77

RAMOND et PHILIPPART (8) ont mis en évidence des profils analogues dans la nappe de la craie sous Lille, par des mesures effectuées à la sonde thermique dans des ouvrages au repos. Les températures mesurées à moins de 10 m sous le sol et moins de 5 m sous le niveau statique, étaient généralement plus élevées que celle des eaux plus profondes.

Les différences qui dépassaient parfois 1°C avaient été attribuées à la proximité de sources de chaleur proche de la nappe (cave particulièrement chaude) et aux injections d'eaux chaudes.

5 - TEMPERATURES MESUREES EN FEVRIER 1977

Les résultats des 87 mesures faites en février 1977 sont résumées sur le tableau de l'annexe 4 indiquant également la profondeur moyenne (x) et la nature de l'aquifère avec l'indice national des forages. La position de ces forages est représentée sur la planche I hors texte avec des symboles différenciant les niveaux captés.

51 - INFLUENCES DES REINJECTIONS ET DE LA SEINE

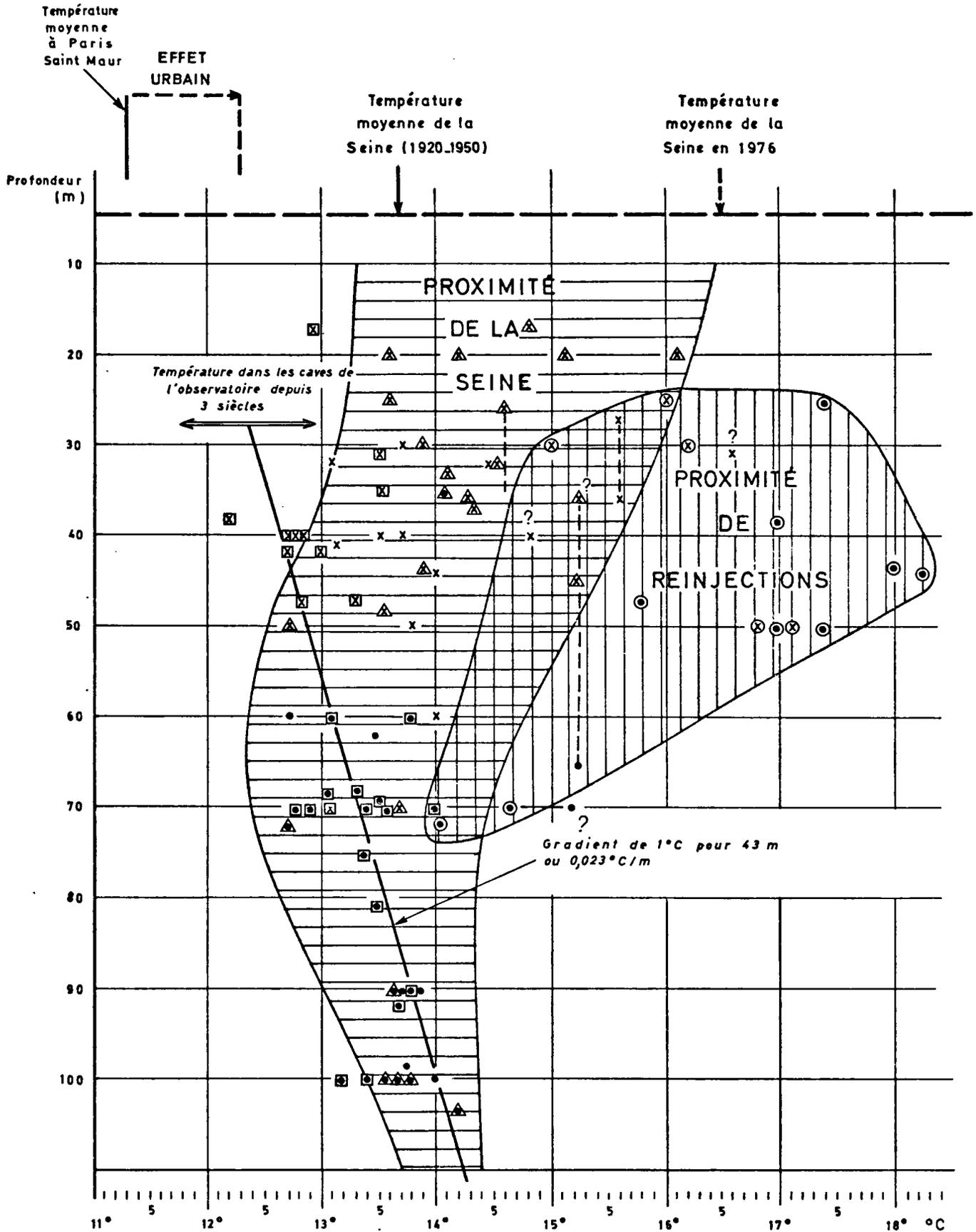
Le graphique de la figure 3 indique la répartition des températures en fonction de la profondeur de captage.

De 20 à 50 m de profondeur, la dispersion est importante (valeurs extrêmes 12,2° et 18,2°) la médiane étant voisine de 14°2. Les symboles classant les distances à la Seine et aux forages de réinjection, ainsi que la carte des mesures faites à moins de 50 m de profondeur (fig. 4), montrent que cette dispersion est due aux forages de réinjection et à la Seine.

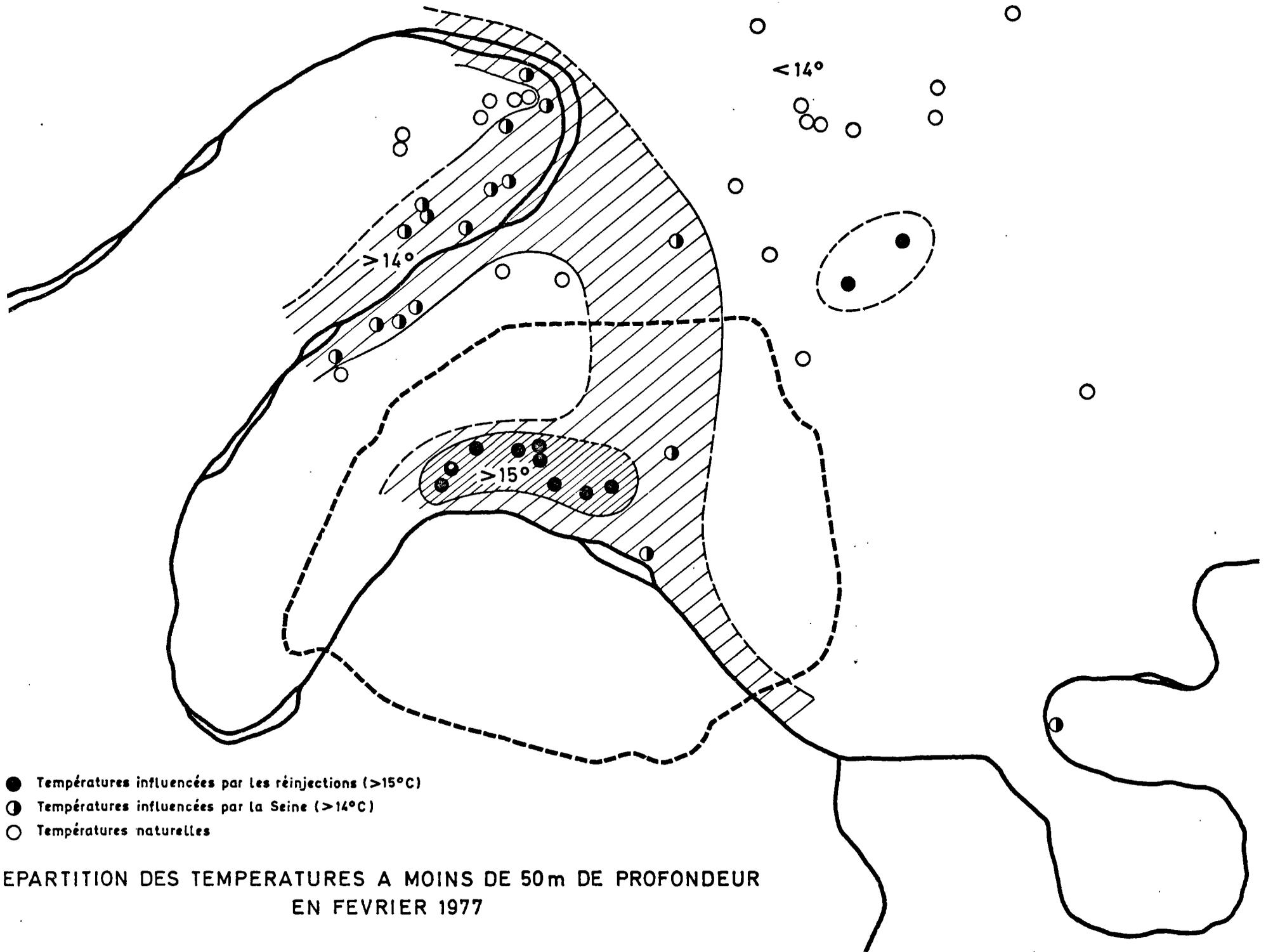
En effet, la plupart des forages situés à proximité (moins de 500 m) d'ouvrages de réinjection connus (points entourés de cercle) ont une température comprise entre 14 et 18° (zone représentée par des hachures verticales). D'autre part, les forages situés à moins de 1.000 m de la Seine (points entourés de triangle - zone à hachures horizontales) sont à plus de 13,5°C si la profondeur est inférieure à 50 m mais ne sont pas réchauffés si la profondeur est plus importante.

(x) Les profondeurs exactes des crépines sont indiquées sur les fiches de terrain. Les profondeurs indiquées ici sont des valeurs moyennes pour n'avoir qu'un nombre et simplifier les graphiques présentés plus loin
ex : crépine de 40 à 60 m - profondeur moyenne = 50 m.

REPARTITION DES TEMPERATURES EN FONCTION DE LA PROFONDEUR



- x Alluvions, Sables de Beauchamp et Calcaires lutéliens
- Sables yprésiens
- A moins de 500 m d'un forage de réinjection connu
- △ A moins de 1000m de la Seine
- A plus de 4 km de La Seine



REPARTITION DES TEMPERATURES A MOINS DE 50m DE PROFONDEUR
EN FEVRIER 1977

Dans les forages situés à plus de 4 km de la Seine (entourés par des petits carrés), les températures restent comprises entre 12,2 et 14°C.

Les points anormalement chauds, bien qu'éloignés de la Seine et des forages de réinjection connus, sont sans doute influencés par d'autres forages de réinjection non déclarés ou par le pompage (pompe à mauvais rendement).

Au-dessous de 80 m de profondeur, les 14 mesures effectuées sont groupées entre 13,2° et 14,2° et plus faibles que la moyenne des niveaux moins profonds.

On a tracé une droite partant de la température moyenne dans les caves à l'Observatoire et passant par le plus possible de points en dehors des zones influencées par les réinjections ou la Seine. Cette droite indique un gradient de 1°C pour 43 m ou 0,023°C pour 1 m.

Le graphique de la figure 5 montre la répartition de la température en fonction de la profondeur dans les forages du champ captant de la S.L.E.E. à Villeneuve-la-Garenne, on remarque peu de différence entre les niveaux profonds (sables yprésiens) et les niveaux des calcaires lutétiens si ce n'est la dispersion plus importante à faible profondeur. Le graphique de la figure 6 ne montre pas de relation simple avec la distance à la Seine entre 0 et 1.500 m.

Dans la partie la plus éloignée de l'agglomération au Nord-Est du secteur étudié, la moyenne des températures des eaux des calcaires est égale à 13°C tandis que la moyenne des températures des eaux des sables yprésiens plus profonds, est de 13,5°C. Cette faible différence peut s'expliquer par le gradient géothermique.

TEMPERATURE DANS LES FORAGES DE LA SLEE A VILLENEUVE LA GARENNE

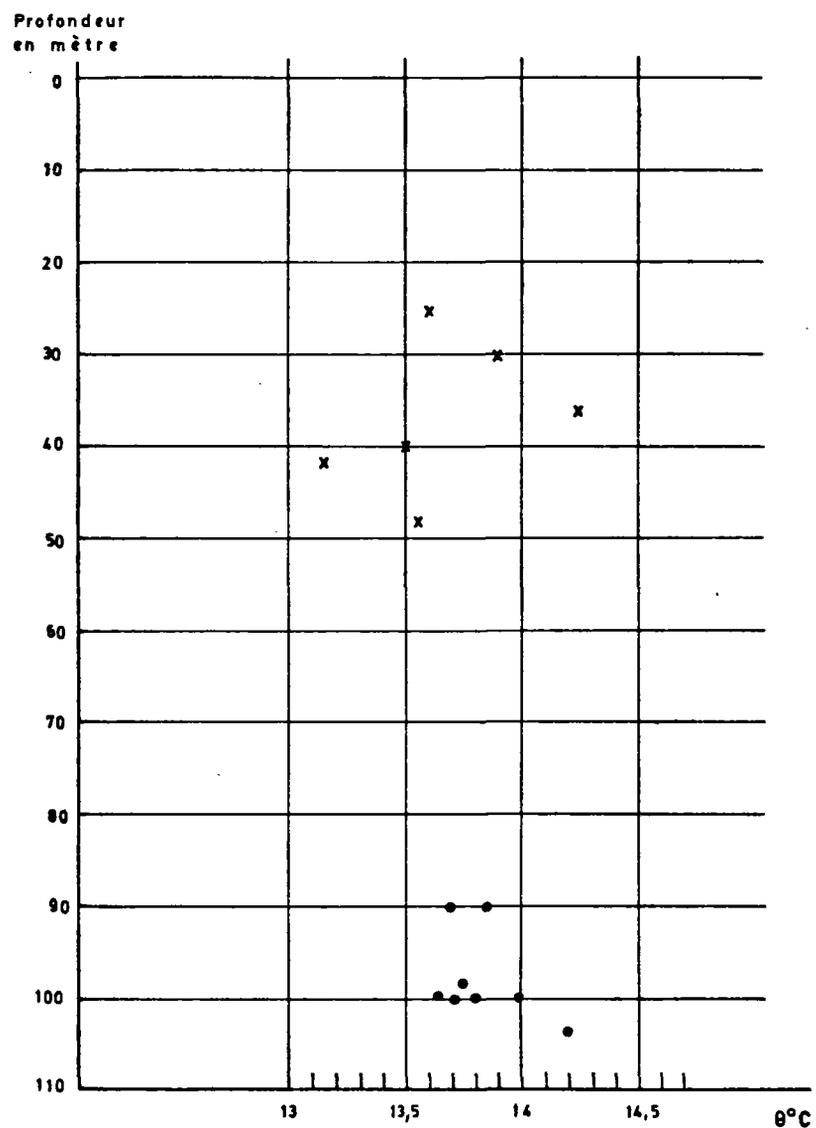
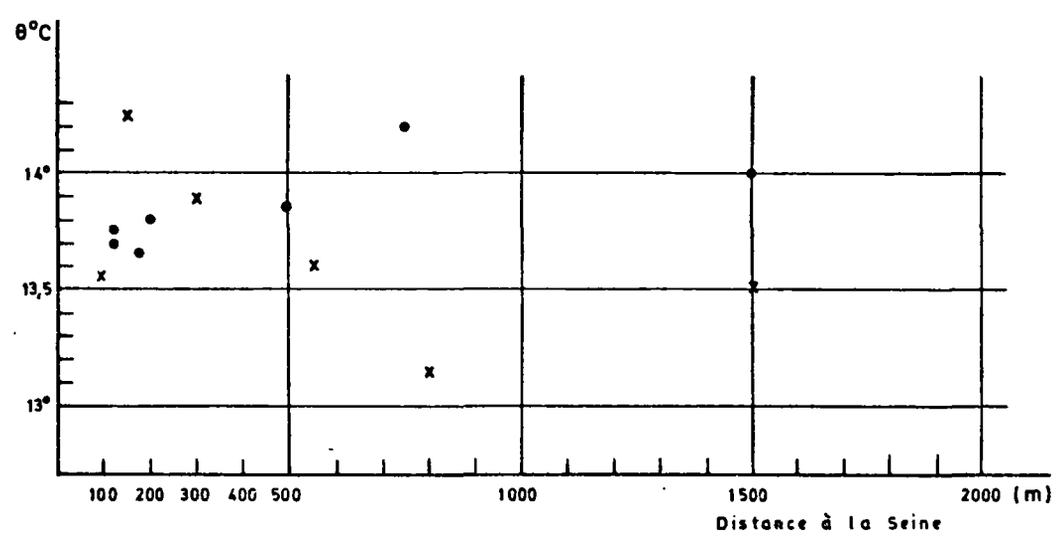


Fig. 6



x Forage aux calcaires lutétiens
 • Forage aux sables yprésiens

52 - MESURES PERIODIQUES SUR UN FORAGE RUE REAUMUR

Le forage 7A.49 exploité par France-Soir depuis 1963 capte les eaux des Marnes et caillasses du Lutétien entre les cotes NGF + 12 et 0.

L'exploitant avait noté à différentes dates les températures di-dessous :

- 2 juillet 1963	: 14°
3 septembre 1963	: 14,5°
16 janvier 1964	: 14°
30 octobre 1975	: 14,5°
29 septembre 1976	: 15°

Depuis février 1977, la température est mesurée plus fréquemment avec un thermomètre gradué au 1/10° de degré :

- 8 février 1977	: 14,7°
17 février 1977	: 15°
2 mars 1977	: 15°
11 mars 1977	: 14,9°
17 mars 1977	: 15°
23 mars 1977	: 15°
30 mars 1977	: 15°
6 avril 1977	: 15°
25 avril 1977	: 14,8°
10 juin 1977	: 14,8°
12 juillet 1977	: 14,7°
19 août 1977	: 14,7°

Les mesures doivent être poursuivies pour que l'on puisse en tirer des conclusions.

6 - CONCLUSIONS

Les mesures effectuées en février 1977 sur 87 forages ont indiqué des températures comprises entre 12,2 et 18,2°C (valeur médiane voisine de 14°C) généralement supérieures à la température atmosphérique moyenne (11 à 12°C).

Les eaux les plus chaudes proviennent des forages situés à proximité des puits de réinjection (8 et 9ème arrondissements surtout).

La plupart des autres points chauds sont situés à proximité de la Seine à moins de 50 m de profondeur.

Au-dessous de 80 m, les résultats sont relativement groupés entre 13,2° et 14,2°C.

A l'époque des mesures, il semble donc que la nappe était réchauffée artificiellement par les réinjections d'eau chaude et par la Seine plus chaude que l'atmosphère en moyenne. Cette influence du fleuve a été sans doute particulièrement importante à la suite de l'été 1976 exceptionnellement chaud.

Pour mieux connaître les causes des variations de température constatées, il serait utile de mesurer la température dans d'autres forages disponibles à proximité de la zone chaude mise en évidence.

Les variations saisonnières éventuelles, qui seraient provoquées par la Seine, pourraient être précisées par des mesures périodiques bimensuelles sur une vingtaine d'ouvrages (avec enregistrements journaliers sur 3 d'entre eux) et par une deuxième campagne de mesures sur les forages

déjà visités en février 1977. Cette deuxième série de mesures devrait être faite en période d'été, 6 mois après les premières mesures faites en période d'hiver.

Lors d'une prochaine campagne, il serait intéressant de mesurer systématiquement les températures à différentes profondeurs à l'intérieur des forages à l'aide d'une sonde pour compléter les mesures faites au thermomètre à la sortie des pompes.

BIBLIOGRAPHIE

1. - BRASHEARS M.L. - Jr (1941) - Ground-water - Temperature on Long Island, New-York, as affected by recharge on warm water, Econ.Geol., v. 36, pp. 811-828.
2. - COLLINS W.D. (1925) - Temperature of water available for industrial use in the United States, U.S. Geol. Survey Water Supply Paper 520-F
3. - ESCLAGON E. (1944) - C.R. Acad.Sc. 26 juin 1944, T. 218, n° 26, p. 981.
4. - FABRIS H. (1975) - Les températures dans les forages - Gisements pétroliers du Bassin parisien et de l'Aquitaine - rapport B.R. G.M. 75 SGN 062 GTH.
5. - GOGUEL J. (1945) - C.R. Acad. Sc. 30 avril 1945, t. 221, p. 421.
6. - GRINGARTEN A. et SAUTY J.P. (1975) - Simulation des transferts de chaleur dans les aquifères. Bulletin du B.R.G.M., sect. III, n° 1, 1975, p. 25-34.
7. - GRINGARTEN A., LANDEL P.A. et PEAUDECERF P. (1976) - Pollution thermique des nappes par réinjection d'eau de circuits de climatisation. Sté Hydrotechnique de France. XIVème journées de l'hydraulique (Paris 1976). Question IV, rapport 5.
8. - HEATH R.C. (1964) - Seasonal temperature fluctuations in surficial sand near Slbany, N.Y., U.S. Geol.Survey Prof. Paper 475.D, Art. 168, pp. D 204 - D 208.
9. - LOVERING T.S., GOODE H.D. (1963) - Measuring geothermal gradients in drill holes less than 60 feet deep, East Tintic District, Utah, U.S. Geol. Survey Bull. 1172.
10. - RAMON S., PHILIPPART A. (1972) - Nappe de la craie sous Lille. Observations sur la surface piézométrique et la température des eaux souterraines en octobre 1972. Rapport B.R.G.M. 72 SGN 427 NPA
11. - SAMMEL (1968) - Convective flow and its effect on temperature logging in small diameter wells. T ans. Petrol Engrs., vol. 210, pp. 1-10 (Tech. paper 4447).
12. - SCHNEIDER R. (1962) - An application of thermometry to the study of ground water, U.S. Geol.Survey Supply Paper, 1544 B
13. - WINSLOW J.D. (1962) - Effect of stream infiltration on ground water températures near Schenectady, N.Y., U.S. Geol.Survey Prof. Paper 450 C, Art. 111, pp. C 125 - C 128.

ANNEXES

Exploitant	Indice national de classement	Adresse	Volume V réinjecté en 1976	t° de réinjection	écart par rapport à 14°	quantité de calories injectées en 1976	nappe réchauffée
					Δ	$V \times \Delta$	
Brasserie nouvelle de Lutèce	7A-147 ?	106-112 Bd A. Blanqui PARIS 13°	252.994 m ³	17-18°	+ 3,5°	885.479	
Gaz industriel de La Courneuve	3B-31	52 avenue Jean Jaurès LA COURNEUVE	14.240 m ³	20°	+ 6°	85.440	calcaires lutétiens
Carboxyde française	4C-66	171 av. Henri Barbusse BOBIGNY	537.310 m ³	17°	+ 3°	1.611.930	sables yprésiens
Saint Marc et Barrès	1C-171	2 à 8 rue des Sabliers NANTERRE	48.226 m ³	16°	+ 2°	96.452	calcaires lutétiens et craie
Copropriétaires du 31 rue du Colisée	2D-279	31 rue du Colisée PARIS 8° (en 1975 :	1.804 m ³ :190.000 m ³)	19° (24°)	+ 5° (10°)	9.020 1.900.000	calcaires et sables
Sté Walrand		32 Bd Stalingrad MALAKOFF	202.334 m ³	22°	+ 8°	1.618.672	
SIRLO	7A-43	37 rue du Louvre PARIS 2°	179.487 m ³	20-21°	+ 6,5°	1.166.665	calcaires et sables
Photo-3 M	5A-3	182, av. Paul Doumer RUEIL-MALMAISON	90.778 m ³	21°	+ 7°	635.446	craie

Forages de réinjection répertoriés à l'Agence financière de bassin Seine-Normandie

TEMPERATURE DES EAUX SOUTERRAINES

183	7A	49
-----	----	----

Commune : PARIS

Adresse : Rue Réaumur

Propriétaire : France Soir

Situation du forage : 2° sous-sol (+ 29 NGF)
chaufferie

diamètre : 260 mm

Date d'exécution : 1927

profondeur totale : 39 m

nappe captée :
marnes et caillasses
LUTETIEN

1ère mesure : 14,7

heure : 12 h 30

date : 8 février 1977

Profondeur des crépines - détails : de 18 à 29 m

moyenne : 24 m

Type de pompe : immergée JEUMONT 80 BN2

débit au moment du prélèvement : 30 m³/h

Durée de pompage avant la 1ère mesure : 1 heure

(au minimum 1 heure à 100 m³/h, 2 heures à 50 m³/h, 3 heures à 25 m³/h)

Niveau dynamique : + 19

Hauteur de la colonne hors d'eau : 10 m

Point de prélèvement (type de robinet, localisation, débit) : robinet

Longueur de la canalisation entre la tête du forage et le point de prélèvement :
35 m

Matériau de la canalisation : acier ordinaire

Température de l'atmosphère autour de la canalisation :

18,4°

Températures mesurées auparavant avec dates (d'après propriétaire ou chimiste) :

14° le 2-7-1963

14° le 16-1-1964

14,5° le 30-10-1975

2ème mesure :

Observations :

CONTROLE DES CONCORDANCES DES THERMOMETRES UTILISES

Date	milieu	n° 1	2	3	4	5
18 janvier 1977	air	22,4°C	22,5°C	22,6°C	22,5°C	
18 janvier 1977	eau	14,3	14,35	14,35	14,3	
19 janvier 1977	eau	19,95	20	20	20	
27 janvier 1977	eau	19,35	19,4	19,45	19,5	
1 février 1977	eau	16,7	16,8	16,8	16,8	
23 février 1977	eau	cassé	20,15	20,2	20,15	20,1

TEMPERATURES MESUREES DANS DES FORAGES EN POMPAGE

Indice national de classement	Nappes captées	Profondeur moyenne de la crépine	Température mesurée
183-2B-2	LUTETIEN	32 m	13,1° C
2B-3	LUTETIEN	36 m	14,25
2B-4	LUTETIEN	30 m	13,7
2B-6	LUTETIEN	26 et 37 m	14,6
2B-22	LUTETIEN ?-YPRESIEN	50 m	12,7
2B-35	LUTETIEN	32 m	14,45
2B-38	LUTETIEN SUPERIEUR	31 m	16,6
2B-55	YPRESIEN	100 m	13,7
2B-56	YPRESIEN	90 m	13,7
2B-58	LUTETIEN	40 m	13,5
2B-58 b	YPRESIEN	100 m	14
2B-59	LUTETIEN	30	13,9
2B-61	LUTETIEN	25	13,6
2B-62	LUTETIEN	41	13,15
2B-62 b	YPRESIEN	103	14,2
2B-64	YPRESIEN	90	13,85
2B-94	YPRESIEN	70	15,2
2B-95	LUTETIEN	37	14,35
2B-105	LUTETIEN-YPRESIEN	60 ?	12,7
2B-108	LUTETIEN	44	14
2B-110	LUTETIEN	32	14,5
2B-121	LUTETIEN INFERIEUR	48	13,55
2B-122	YPRESIEN	98	13,75
2B-123	YPRESIEN	100	13,8
2B-138	YPRESIEN	72	12,7
2B-139	YPRESIEN	62	13,5
2B-140	YPRESIEN	100	13,6
2B-143	LUTETIEN	33	14,1
2C-13	LUTETIEN	27 et 36	15,6

Indice national de classement	Nappes captées	Profondeur moyenne de la crépine	Température mesurée
2C-107	ALLUVIONS-LUTETIEN	17	14,8
2C-109	LUTETIEN	20	13,6
2D-5	ALLUVIONS-LUTETIEN	20	15,1
2D-15	YPRESIEN	25	17,4
2D-19	LUTETIEN-YPRESIEN	44	18,25
2D-60	YPRESIEN	50	17
2D-74	LUTETIEN	30	16,2
2D-105	LUTETIEN-YPRESIEN	70 ?	13,65
2D-130	LUTETIEN-YPRESIEN	50	16,8
2D-154	LUTETIEN SUPERIEUR	20	14,2
2D-273	LUTETIEN INFERIEUR	44	13,9
2D-78	YPRESIEN	50	17,4
2D-280	LUTETIEN-YPRESIEN	45	15,2
2D-284	YPRESIEN	38	17
2D-427	YPRESIEN	43	18
3A-39	LUTETIEN	60	14
3A-40	YPRESIEN	90	13,7
3B-1	SABLES DE BEAUCHAMP ET LUTETIEN	35	13,55
3B-10	LUTETIEN	40	12,7
3B-16	LUTETIEN	40	12,8
3B-30	LUTETIEN-YPRESIEN	60	13,1
3B-42	LUTETIEN	40	13,7
3B-84	LUTETIEN INFERIEUR	47	12,8
3B-88	LUTETIEN	42	12,75
3C-12	LUTETIEN	50	13,8
3C-14	LUTETIEN	40 ?	14,8
3C-246	LUTETIEN-YPRESIEN	36 et 65	15,25
3D-36	YPRESIEN	75	13,4
3D-43	LUTETIEN	47	13,3
3D-48	YPRESIEN	100	13,4
3D-91	YPRESIEN	72	14,05
3D-92	LUTETIEN	42	13
4A-1	SABLES DE BEAUCHAMP	17	12,9
4A-6	YPRESIEN	69	13,5
4A-17	LUTETIEN	40	12,8
4A-38	YPRESIEN	92	13,75
4A-40	YPRESIEN	81	13,5

Indice national de classement	Nappes captées	Profondeur moyenne de la crépine	Température mesurée
4A-45	LUTETIEN	31	13,5
4A-63	YPRESIEN	70	14
4B-12	YPRESIEN	90	13,8
4B-21	YPRESIEN	70	12,8
4C-21	YPRESIEN	70	13,4
4C-22	YPRESIEN	100	13,2
4C-24	LUTETIEN-YPRESIEN	70	13,1
4C-66	YPRESIEN	70	14,65
4C-103	YPRESIEN	68	13,3
4C-104	YPRESIEN	70	13,6
4C-105	YPRESIEN	70	12,9
4C-125	YPRESIEN	68	13,1
4D-13	LUTETIEN	38	12,2
6B-14	YPRESIEN	47	15,8
6B-14	LUTETIEN INFERIEUR	25	16
7A-6	YPRESIEN	35	14,1
7A-43	LUTETIEN- YPRESIEN	50	17,1
7A-49	LUTETIEN	30	15
7A-232	LUTETIEN	40	15- 14,8
7B-8	YPRESIEN	60	13,8
8C-78	ALLUVIONS-YPRESIEN	20	16,1

ETUDE DE LA TEMPERATURE DES NAPPES PEU PROFONDES
A PARIS ET DANS LA BANLIEUE NORD

RESUME

Pour mieux connaître les possibilités d'utilisation des eaux des nappes semi-profondes sous Paris, l'Agence financière de bassin Seine-Normandie a demandé au Bureau de recherches géologiques et minières, Service géologique régional Bassin de Paris, d'effectuer un relevé synchrone des températures, au 1/5 de degré centigrade, sur des ouvrages disponibles.

Les mesures ont été effectuées en février 1977 sur 87 forages de 30 à 100 m de profondeur exploitant les eaux du calcaire grossier lutétien et des sables du Soissonnais yprésiens. Les températures comprises entre 12,2 et 18,2°C (valeur médiane voisine de 14°C) sont généralement supérieures à la température atmosphérique moyenne (11 à 12°C).

Les eaux les plus chaudes proviennent des forages situés à proximité des puits de réinjection. La plupart des autres points chauds sont situés à proximité de la Seine à moins de 50 m de profondeur.

L'influence du fleuve a été sans doute particulièrement importante à la suite de l'été 1976 exceptionnellement chaud.

ETUDE DE LA TEMPERATURE DES NAPPES PEU PROFONDES A PARIS ET DANS LA BANLIEUE NORD

RESUME

Pour mieux connaître les possibilités d'utilisation des eaux des nappes semi-profondes sous Paris, l'Agence financière de bassin Seine-Normandie a demandé au Bureau de recherches géologiques et minières, Service géologique régional Bassin de Paris, d'effectuer un relevé synchrone des températures, au 1/5 de degré centigrade, sur des ouvrages disponibles.

Les mesures ont été effectuées en février 1977 sur 87 forages de 30 à 100 m de profondeur exploitant les eaux du calcaire grossier lutétien et des sables du Soissonnais yprésiens. Les températures comprises entre 12,2 et 18,2°C (valeur médiane voisine de 14°C) sont généralement supérieures à la température atmosphérique moyenne (11 à 12°C).

Les eaux les plus chaudes proviennent des forages situés à proximité des puits de réinjection. La plupart des autres points chauds sont situés à proximité de la Seine à moins de 50 m de profondeur.

L'influence du fleuve a été sans doute particulièrement importante à la suite de l'été 1976 exceptionnellement chaud.

FORAGES MESURÉS EN FÉVRIER 1977

PARIS

Planche 1



BRGM - SGR Bassin de Paris

Echelle : 1/50000

NIVEAUX AQUIFÈRES EXPLOITÉS

-  Alluvions
-  Sables de Beauchamp
-  Lutétien
-  Yprésien
-  Craie

TEMPÉRATURES MESURÉES

-  12°C à 12,9°C
-  13°C à 14,9°C
-  15°C à 16,9°C
-  17°C et plus

FORAGES DE RÉINJECTION

-  Les diamètres des cercles concentriques sont proportionnels aux quantités de chaleur réinjectée (Débit annuel 1976 x Δt°)