

HYDROMINES

13, rue Anne Grelat

Cidex 914

41300 SALBRIS

Tél : 02 54 88 26 01

Fax : 02 54 97 02 09

E.mail : hydro41@club-internet.fr

AQUAPAC

21006

PROJET DE CLIMATISATION PAR
POMPAGE ET INJECTION D'EAU SOUTERRAINE

RAPPORT D'EXÉCUTION
D'UN FORAGE D'ESSAI

LE GAUGUIN PROMOTION
4, Place de la Défense
92974 Paris la Défense Cedex

"Quai Léon Blum"
Suresnes (92)

INTRODUCTION

Un forage d'essai a été exécuté "Quai Léon Blum", sur le territoire de la commune de Suresnes (Hauts-de-Seine), le but de cet ouvrage est la détermination des paramètres hydrodynamiques de la nappe de la craie, dans le cadre d'un projet de climatisation d'un immeuble. Le débit recherché est de 75 m³/h.

L'aquifère à tester est le réservoir de la craie à une profondeur d'une quarantaine de mètres.

DONNÉES GÉNÉRALES

Le forage, réalisé au point prévu lors de l'étude préalable, a été équipé à la profondeur de 43,40 mètres.

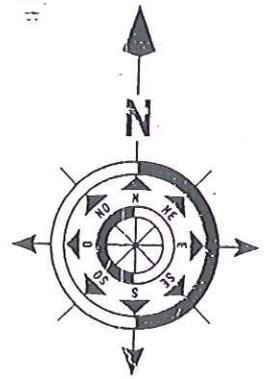
Les travaux de forage et de pompage ont été réalisés 23 avril au 17 mai 2001, par l'entreprise :

S.N. COTRASOL
5, rue des Maraîchers
78260 Achères

"Quai Léon Blum" 92 Suresnes

Localisation du forage:

X : 591,925 Y : 1129,590 Z : + 30
Section X parcelle n° 54



Échelle : 1 / 25 000 ème.

Extrait de la carte IGN n° 2314 OT.



FORAGE

Forage au rotary à la boue biodégradable en diamètre de 558 mm, de la surface à - 15,00 mètres.

Fourniture et mise en place de tubes aciers lisses, de diamètres 400 / 406 mm, de - 15,00 à + 00,50 mètres.

Cimentation étanche de l'espace annulaire à l'extrados du tubage, par le bas, sous pression, de - 15,00 mètres à la surface.

Poursuite du forage au rotary à la boue biodégradable en diamètre, de 374,6 mm, de - 15,00 à - 46,00 mètres.

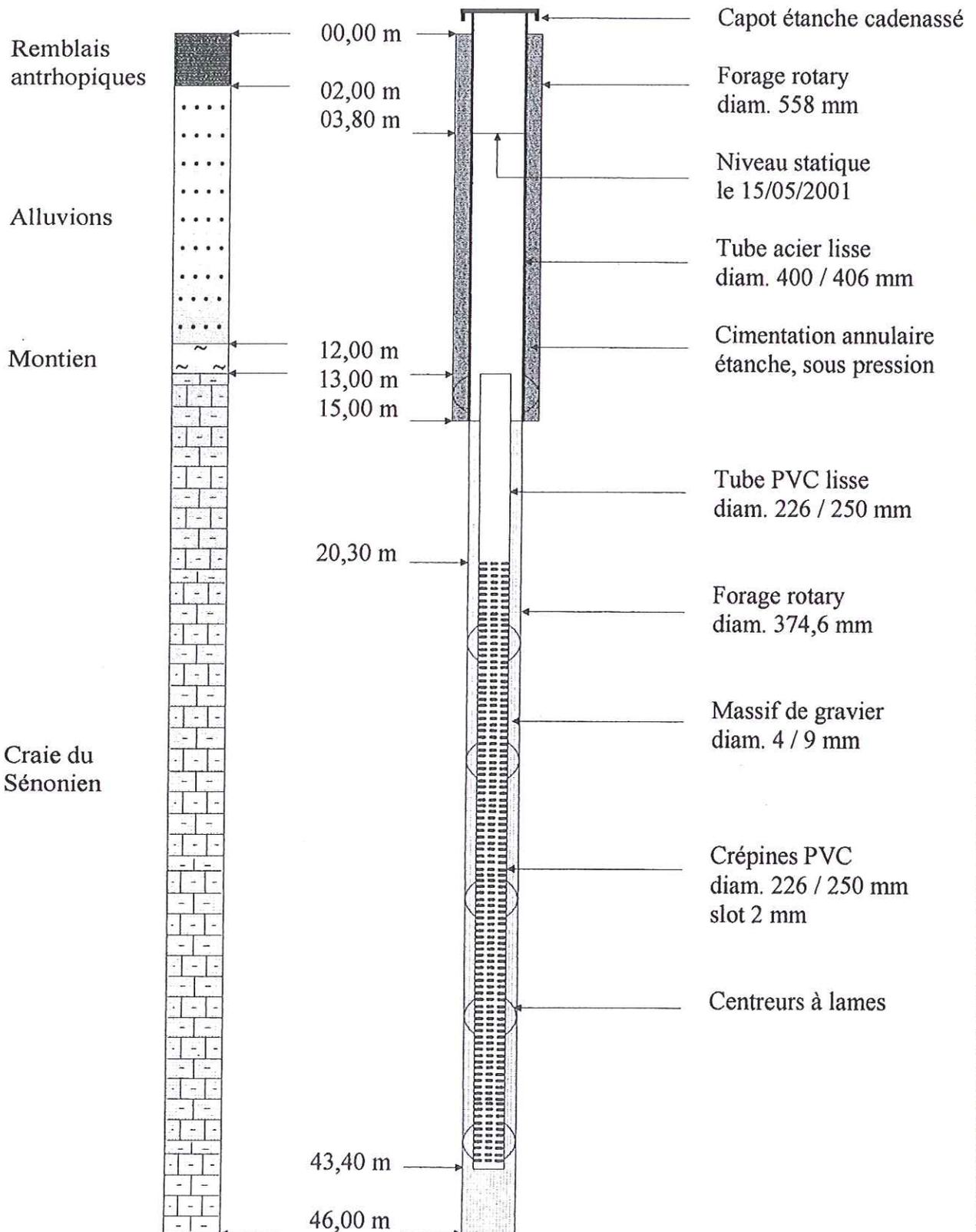
Équipement du forage, de - 43,40 à - 13,00 mètres, par télescopage d'une colonne de tubes P.V.C. filetés, vissés, sans tulipe, de qualité alimentaire, de diamètres 226 / 250 mm ; la répartition tube / crépine est la suivante, de bas en haut :

- tube crépiné (slot 2 mm), de - 43,40 à - 20,30 mètres,
- tube lisse de - 20,30 à - 13,00 mètres.

Cette colonne est centrée dans le forage à l'aide de centreurs à quatre lames (un centreur par élément tubulaire).

Fourniture et mise en place d'un massif de gravier filtrant, propre, résistant aux acides et à la compression, roulé, siliceux et calibré (4/9 mm), de - 46,00 à - 15,00 mètres à la surface.

**COUPES GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE
FORAGE D'ESSAI
"Quai Léon Blum" 92 SURESNES**



IMPLANTATION

Département	Hauts-de-Seine
Commune	Suresnes
Lieu-dit	"Quai Léon Blum"
Coordonnées kilométriques (Lambert I)	X : 591,925 Y : 1129,590 Z : +30
Références cadastrales	Section X parcelle n° 54
Coupure géologique	183-5B

COUPE GÉOLOGIQUE

00,00	00,20	mètres	Bitume
00,20	02,00		Remblais anthropiques
02,00	04,50		Sable marron foncé
04,50	06,30		Marne beige
06,30	08,50		Sable marron clair
08,50	12,00		Sable jaune
12,00	13,00		Marne verte
13,00	19,00		Craie grise
19,00	23,00		Craie beige
23,00	46,00		Craie blanche

INTERPRÉTATION

00,00	02,00	Mètres	Remblais
02,00	12,00		Alluvions
12,00	13,00		Montien
13,00	46,00		Craie du Sénonien

DÉVELOPPEMENTS

Nettoyage développement à l'aide d'une pompe immergée, d'une durée de six heures le 03 mai 2001 ; niveau d'eau à 40,00 mètres pour 55 m³/h.

Développement par traitement chimique : injection de deux tonnes d'acide chlorhydrique le 10 mai 2001.

Nettoyage développement et pistonnage à l'aide d'une pompe immergée, d'une durée de onze heures, le 11 mai 2001, au débit de 76 m³/h.

Développement par traitement chimique : injection de deux tonnes d'acide chlorhydrique le 14 mai 2001.

ESSAIS DE POMPAGE

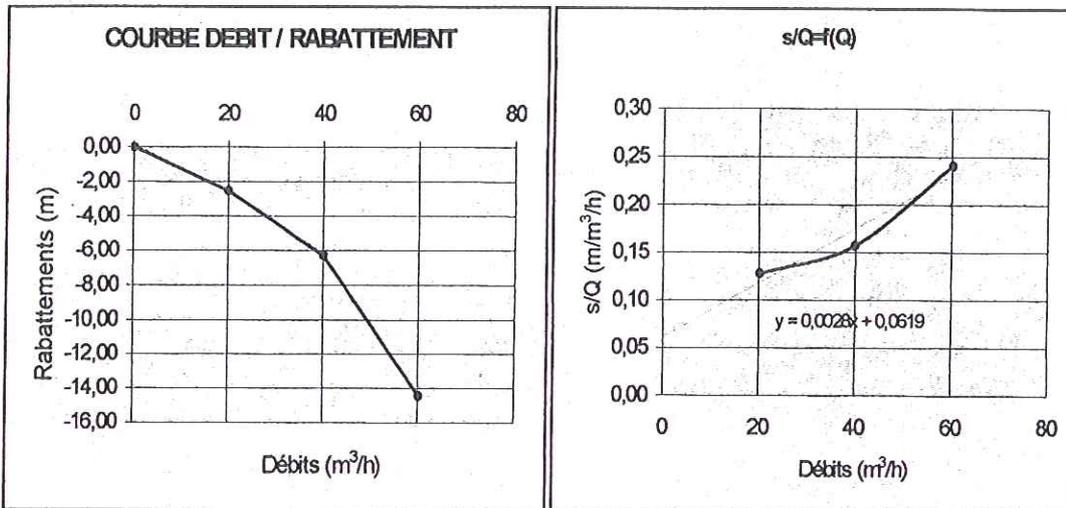
Les essais de pompage ont été réalisés du 15 au 26 mai 2001 par l'entreprise S.N. COTRASOL.

Niveau statique au sol : - 03,80 mètres.

POMPAGE PAR PALIERS

Essai de pompage par trois paliers de stabilisation à débits constants, d'une durée totale de six heures le 15/05/2001. La température de l'eau est de 13,8°C.

Paliers	Débits Q m ³ /h	Rabattements s m	Débit spécifique Q/s m ³ /h/m	Rabt spécifique s/Q m/m ³ /h	Rabt théoriq BQ m	Rabt calculé BQ + CQ ² m
	0	0				
P1	20,00	-2,55	7,84	0,13	1,24	2,36
P2	40,00	-6,29	6,36	0,16	2,48	6,96
P3	60,00	-14,45	4,15	0,24	3,71	13,79



Le débit critique n'est pas atteint.

PERTES DE CHARGE

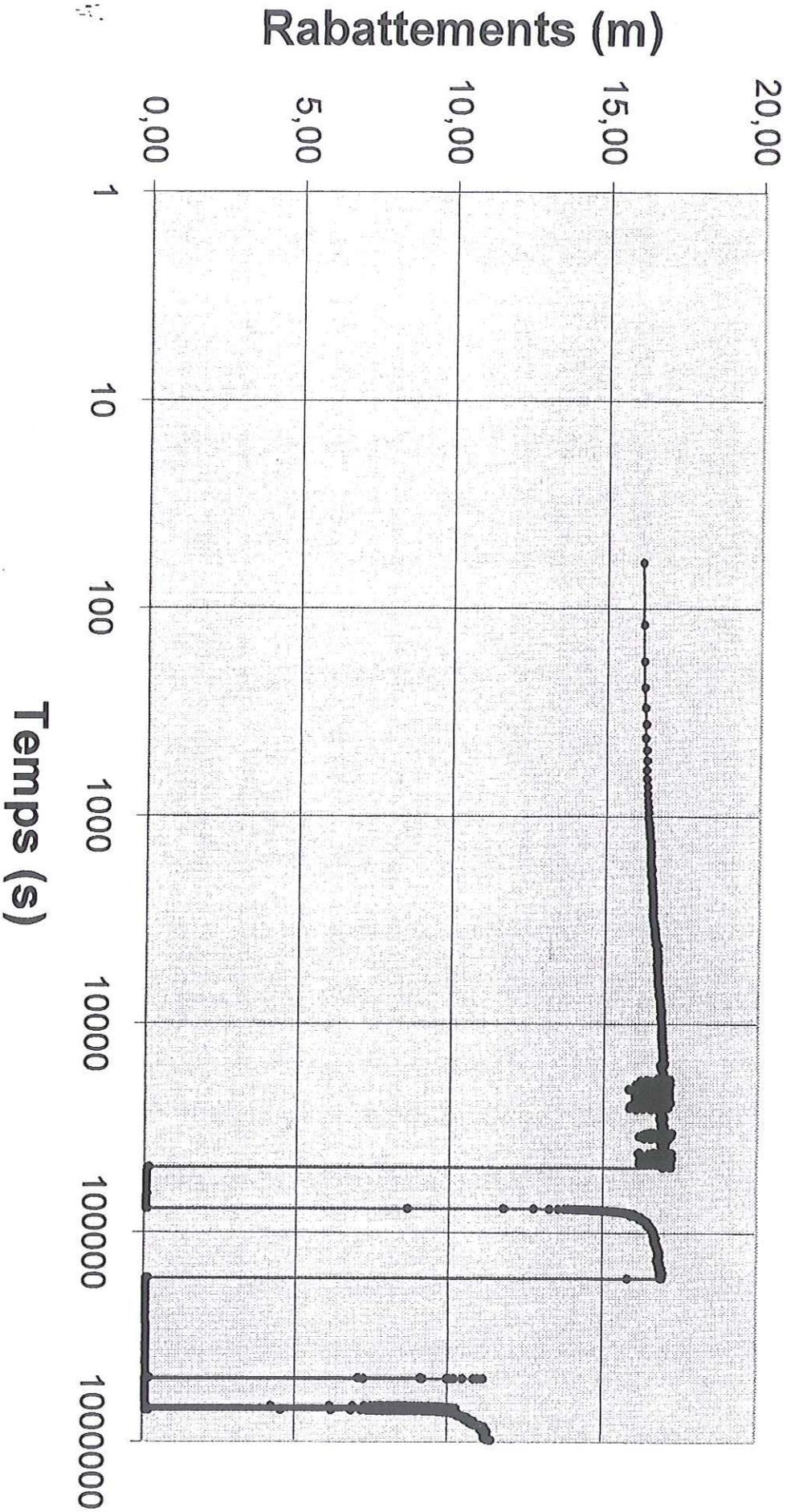
La forme générale de l'équation des rabattements est $S = BQ + CQ^2$. Dans cette formule les termes B et C correspondent aux effets suivants :

- B représente les pertes de charge linéaires
- C représente les pertes de charge quadratiques

Les termes B et C sont calculés à partir de la courbe observée $s/Q = f(Q)$. Le coefficient B est donné par l'intersection de la droite avec l'axe de s/Q, et le coefficient C par la pente de la droite.

Pertes de charge quadratiques C (h ² /m ⁵)	2,8.10 ⁻³
Pertes de charge linéaires B (h/m ²)	6,19.10 ⁻²

Pompage longue durée Suresnes (92)



POMPAGE CONTINU

Cet essai de longue durée a pour but de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.

Pompage continu d'une durée de quatorze heures, le 15 mai 2001, au débit de 82,70 m³/h. Arrêt du groupe électrogène.

Pompage longue durée et continu du 23 au 26 mai 2001, d'une durée de soixante seize heures, au débit de 77 m³/h. A la fin de l'essai, le niveau dynamique s'établit à - 15,19 mètres.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau a été réalisé en fin de pompage pour une analyse physico chimique de type C3 (bulletin d'analyse en annexe).

TRANSMISSIVITÉ

La transmissivité (T) caractérise l'aptitude d'une nappe aquifère à produire de l'eau. C'est le produit de la perméabilité et de l'épaisseur mouillée du réservoir.

Elle est calculée à partir de la formule semi-logarithmique de Jacob (pompage longue durée) :

$$T = 9,98.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

CALCUL DU DÉBIT POSSIBLE D'INJECTION

Les débits de recharge sont rarement équivalents aux débits de pompage.

Par analogie, avec les formules de rabattement de nappe libre avec un puits parfait, on peut calculer l'absorption de l'eau au moyen de l'expression suivante :

$$Q = \frac{\pi K (H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r}$$

Q	débit en m ³ /s
K	perméabilité en m/s
h	niveau statique avant injection
H	niveau de la colonne d'eau dans le forage
R	rayon d'influence en mètre
r	rayon du forage
ln	log népérien

soit un débit possible de **46 m³/h**.

INCIDENCE

Cette approche des incidences et des interactions est toujours délicate à réaliser, les facteurs intervenants sont nombreux et pas toujours parfaitement connus.

Les paramètres des écoulements souterrains connus comme :

- la piézométrie de la nappe,
- la morphologie du mur de l'aquifère,
- les paramètres hydrodynamiques (transmissivité, porosité, coefficient d'emmagasinement),
- les conditions aux limites,
- la distribution de la fissuration du système,

sont complexes et souvent approximatifs.

Les résultats ne peuvent être considérés que comme indicatifs. Les méthodes mathématiques n'exploitent que les données connues.

Les paramètres utilisés sont issus de l'essai de pompage.

En conditions naturelles, un aquifère est en état d'équilibre dynamique. Le pompage dans un forage modifie cet équilibre et provoque un rabattement de la surface de la nappe.

La zone d'appel est la zone dans laquelle l'ensemble des apports d'eau convergent vers le forage.

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES HYPOTHÈSES DE CALCUL D'INCIDENCE

Transmissivité T (m ² /s)	Coefficient d'emménagement S	Rayon d'appel en mètres	Rayon d'appel en mètres
		Pompage continu 72 heures	Période globale 312 jours - 17 heures/jour
0,00998	0,10	241	2071
	0,05	341	2928

Rabattements calculés après 312 jours (17 h/j) de pompage
Débit = 75 m³/h, T=0,00998 m²/s, S=0,05

Rabattements (mètres)	Distances (mètres)
0,00	2928
0,05	2519
0,10	2168
0,25	1380
0,50	651
0,75	307
1,00	145
1,50	32
2,00	7
3,00	0,4

La formule de **Theis-Jacob** permet de déterminer la forme de la zone d'appel du pompage :

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

Q	:	débit en m ³ /s
Δ	:	rabattement en mètre
T	:	transmissivité en m ² /s
t	:	temps en seconde
r	:	rayon d'influence en mètre
S	:	coefficient d'emmagasinement

Cette méthode suppose un milieu homogène, isotrope et infini, sans réalimentation.

Le rayon d'appel r pour un rabattement Δ = 0, a été calculé pour :

- un pompage continu de 72 heures,
- la période d'utilisation entière de 312 jours, 17 heures / jour,

au débit de 75 m³/h.

Les résultats du calcul de l'incidence sont consignés dans le tableau synthétique précédant.

ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE

Le prélèvement d'un échantillon d'eau a été réalisé en fin de pompage, pour réaliser une analyse physico chimique de type C3.

Cette eau présente :

une turbidité très élevée, liée pour partie à une très forte teneur en fer et en fluorure.

Une minéralisation excessive (conductivité supérieure à 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), confirmée par la teneur en résidus secs.

Une dureté importante (eau dite dure à partir de 30 °F).

Un titre alcalimétrique nul, d'où une concentration en carbonates nulle, compensée par une très importante concentration en hydrogénocarbonates.

Les caractéristiques physico-chimiques de cette eau la définissent comme, bicarbonatée, calcique, magnésienne, potassique, riche en aluminium (proche de la limite, 0,5 mg/l pour les eaux chaudes), très riche en fluor.

La température de prélèvement est de 13,8°C.

Le calcul de l'équilibre calco-carbonique, par la méthode Legrand Poirier Leroy, donne les résultats suivants :

Eau calcifiante

SatuRatio	12,818
Indice de Langelier	1,119
Indice de Riznar	6,143
Indice de Larson	3,126
Indice Leroy	0,264

L'évolution des équilibres physico-chimiques (calco-carbonique, etc.), en fonction des variations de température ont été modélisés (logiciel LPLWIN® version 4.22).

LPLWin

Etape :	Eau: 1 Etape: 0
Nom :	Suresnes 1
Fichier :	C:\Program Files\LplWin\Suresnes 1.lpw

Paramètre	Valeur	Unité	Unité	Unité	Unité
Température	13,8	°C			
Conductivité	c 1371,6	µS/cm			
pH	c 8,38				
Alcalinité	c 82,672	°F	16,534		
Chlore	0,1	°F	0,02		
Sulfate	21,7	°F	4,34		
Calcium	c 1,818	mg/l	0,041		
Magnésium	199	mg/l	9,95		
Sodium	80	mg/l	6,584		
Potassium	26,8	mg/l	1,165		
Chlore	10,1	mg/l	0,259		
Sulfate	56	mg/l	1,577		
Nitrate	560	mg/l	11,667		
	c 23,214	mg/l	0,374		

Paramètre	Résultats	Unité
Calcium	17,959	me/l
Magnésium	17,976	me/l
Alcalinité	0,1	%
Chlore	2,796	
Sulfate	2,562	mg/l
Calcium	258,419	mg/l
Magnésium	3,611	mg/l
Sodium	4,338	mM/l
Sulfate	12,818	
Type	Calcifiante	

Paramètre	Valeur	Unité
Alcalinité	7,26	
Calcium	-37,393	mg/l
Magnésium	21,789	°F
Chlore	34,624	mg/l
Sulfate	265,253	mg/l
Calcium	0,281	mg/l
Magnésium	4,912	mM/l
Sodium	0,574	mM/l
Chlore	199,	mg/l

SYNTHÈSE

Le forage d'essai équipé à la profondeur de 43,40 mètres, à la nappe de la craie, "Quai Léon Blum" à Suresnes (Hauts-de-Seine), peut être exploité :

en pompage au débit de 75 m³/h
en injection au débit de 46 m³/h

L'eau exhaurée est calcifiante, quelle que soit sa température.

Compte tenu des caractéristiques hydrauliques et physico chimiques appréhendées au cours de ces essais, il est nécessaire de prévoir les modifications suivantes au protocole de réalisation des travaux :

Approfondissement des ouvrages à créer, pour permettre l'injection sous le niveau de pompage. Forage à réaliser à la profondeur de 50,00 mètres.

De prévoir des essais de pompage complets, avec prélèvement d'un échantillon d'eau pour analyse de type C3 et granulométrie laser, sur chacun des ouvrages.

De prévoir la mise en place de groupes électropompes immergés dans les ouvrages d'injection, pour permettre un entretien par pompage.

De prévoir la réalisation d'un piézomètre (profondeur minimale 35,00 mètres), avec mise en place d'une sonde de mesure et d'enregistrement des niveaux d'eau et de la température.

De prévoir un système permettant le prélèvement d'échantillons d'eau sur le circuit de rejet avant injection dans les forages. De réaliser un prélèvement et une analyse de type C3 et granulométrie laser, dès les premiers jours de mise en service du système.



RAPPORT D'ANALYSES N° 010621991

Dossier n° : 0HYDROM-20010601-9074
Echantillon n° : 20010601-22396
Produit : Puits et forages privés
Type d'analyse : C3
Demandeur : HYDROMINES
Page : 1

HYDROMINES

13 rue Anne Grelat
Cidex 914
41300 SALBRIS

Date de réception	01/06/2001	Localisation exacte
Heure de réception	08:54	
Date de prélèvement	31/05/2001	
Heure de prélèvement		
Prélevé par	le client	
Lieu de prélèvement	Forage "Suresnes" n° 1	

ANALYSE	RESULTAT	UNITE	METHODE
Analyses chimiques			
Aspect	trouble		
Couleur par méthode visuelle *	<5	mg/l Pt	NF EN ISO 7887
Turbidité Néphélométrique	12.00	NTU	NF EN 27027
pH à 20°C *	7.50	Unité pH	NF T 90-008
Conductivité à 25 °C (Compensation de T°) *	1500	µS/cm	NF EN 27888
T° de mesure de la conductivité	20.3	°C	Sonde Pt 100
Conductivité à 20°C	1350	µS/cm	Calcul
Résidu Sec à 180°C	1200	mg/L	Méthode interne
Titre Alcalimétrique	<0.1	°F	NF EN ISO 9963-2
Titre Alcalimétrique Complet *	21.7	°F	NF EN ISO 9963-1
Dureté *	81.9	°F	NF T 90-003
Indice permanganate *	0.62	mg/L	NF EN ISO 8467
Nitrates (en NO3) *	<1	mg/L	NF EN ISO 13395
Nitrites (en NO2) *	<0.05	mg/L	NF EN ISO 13395
Ammonium (en NH4) *	1.12	mg/L	NF EN ISO 11732
Calcium *	199.0	mg/L	NF T 90-005
Magnésium *	80.0	mg/L	NF T 90-005
Sodium *	26.8	mg/L	NF T 90-019
Potassium *	10.1	mg/L	NF T 90-019
Carbonates	0.0	mg/L	NF EN ISO 9963-2
Hydrogénocarbonates *	265.0	mg/L	NF EN ISO 9963-1
Chlorures *	56.0	mg/L	NF EN ISO 10304-1
Sulfates *	560.0	mg/L	NF EN ISO 10304-1
Silice (en SiO2) *	15.0	mg/L	Flux continu
Aluminium Total *	0.496	mg/L	NF EN ISO 12020



Rapport d' analyses n° : 010621991

Dossier n° : 0HYDROM-20010601-9074
Echantillon n° 20010601-22396
Produit : Puits et forages privés
Type d'analyse :
Demandeur HYDROMINES
Page : 2

ANALYSE	RESULTAT	UNITE	METHODE
Fer Total	110	µg/l	Flux continu
Manganèse Total *	15	µg/l	FD T 90-119
Cuivre *	<0.1	mg/L	FD T 90-112
Zinc *	<0.05	mg/L	FD T 90-112
Fluorure *	2700	µg/l	NF EN ISO 10304-1

* Essai réalisé sous accréditation.

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 2 page(s).
L'accréditation de la Section Essais du COFRAC atteste uniquement de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

Les commentaires sont sous la seule responsabilité du laboratoire.

Destinataires : HYDROMINES

Date d'émission des résultats : 26/06/01

Responsable de l'unité
M. T. LHOMMEDE

Le Directeur du Laboratoire
Mme B. MARPILLAT