

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Bolte Postale 6009 - 45018 ORLÉANS CEDEX - Tél. (38) 63.80.01

REGIE MUNICIPALE DU GAZ DE BORDEAUX

ETUDE D'UN SYSTEME DE POMPAGE ET REINJECTION

D'EAU DE LA NAPPE DU PLIO-QUATERNAIRE

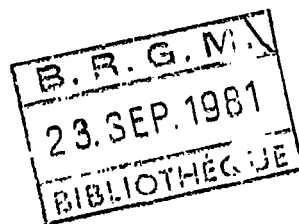
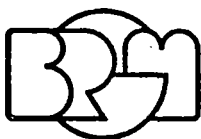
A BORDEAUX-BACALAN (GIRONDE)

par

D. BERNARD et J.C. MARTIN

81 SGN 127 AQI

Pessac, le 20 février 1981



SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL AQUITAINE

Avenue Docteur-Albert-Schweitzer - 33600 PESSAC - Tél. (56) 80.69.00 - Télax 550485

- R E S U M E -

A la demande de la Régie municipale du Gaz de Bordeaux, le Service géologique régional Aquitaine du Bureau de recherches géologiques et minières, a étudié les conditions d'utilisation d'un doublet de forage dans la nappe alluviale de la Garonne pour l'utilisation d'une pompe à chaleur.

Les essais de pompages et d'injection ont permis de positionner le forage d'injection d'une eau très chargée en fer (15 mg/l), en fonction du débit d'exploitation (15 m³/h) de l'ensemble du système.

S O M M A I R E

=====

	<u>PAGES</u>
RESUME	I
SOMMAIRE	II
LISTE DES FIGURES	III
1 - <u>INTRODUCTION</u>	1
2 - <u>REMISE EN SERVICE D'UN ANCIEN PUIT</u>	2
2.1 - Examen des documents d'archives	2
2.2 - Remise en état du puits	2
2.3 - Essais de pompage	3
2.3.1 - Pompages par paliers de débit	3
2.3.2 - Pompage à débit continu	4
2.3.3 - Remontée de la nappe après arrêt du pompage	5
2.3.4 - Qualité chimique de l'eau	5
3 - <u>RECHERCHE DE L'EMPLACEMENT OPTIMAL DE L'INJECTION</u>	6
3.1 - Généralités	6
3.2 - Rabattement de la nappe pour une distance de 200 m	6
3.3 - Pression à appliquer pour la réinjection	7
4 - <u>MISE EN PLACE DU DISPOSITIF D'INJECTION</u>	9
4.1 - Généralités	9
4.2 - Creusement et équipement du forage	9
4.3 - Pompage d'essais	9
4.4 - Essais d'injection	10
5 - <u>CONCLUSION</u>	11

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 - Plan de situation.

FIGURE 2 - Situation du puits de pompage et du forage d'injection.

FIGURE 3 - Coupe technique du puits de pompage.

FIGURE 4 - Coupe lithologique du puits de pompage.

FIGURE 5 - Calcul des pertes de charge du puits de pompage.

FIGURE 6 - Courbe caractéristique du puits de pompage.

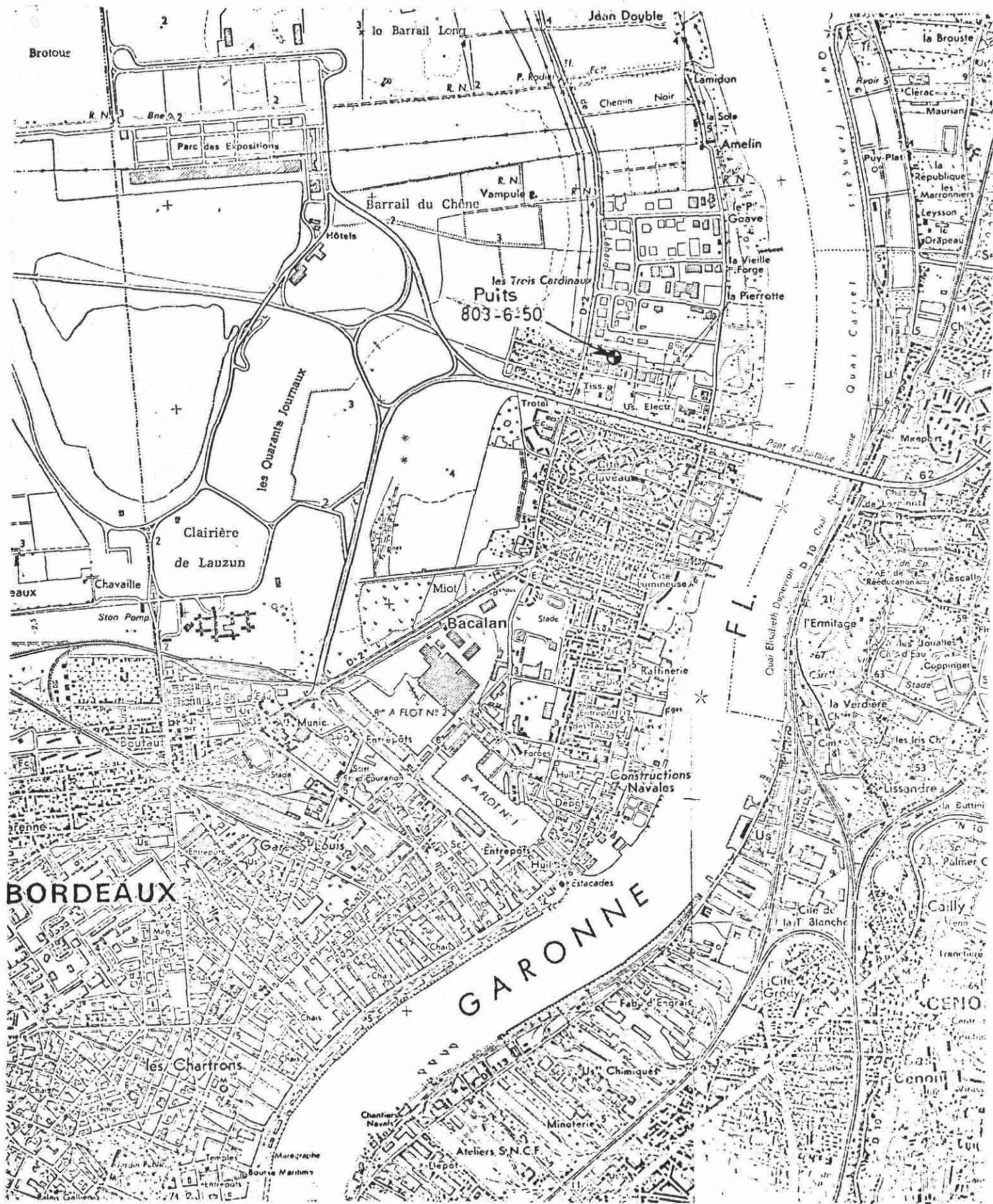
FIGURE 7 - Evolution des rabattements observés lors du pompage de 24 heures sur le puits de pompage.

FIGURE 8 - Observation de la remontée après le pompage de 24 heures sur le puits de pompage.

FIGURE 9 - Evolution piézométrique sur une semaine au puits de pompage.

FIGURE 10 - Coupe technique du forage d'injection.

PLAN DE SITUATION



Echelle : 1/25 000

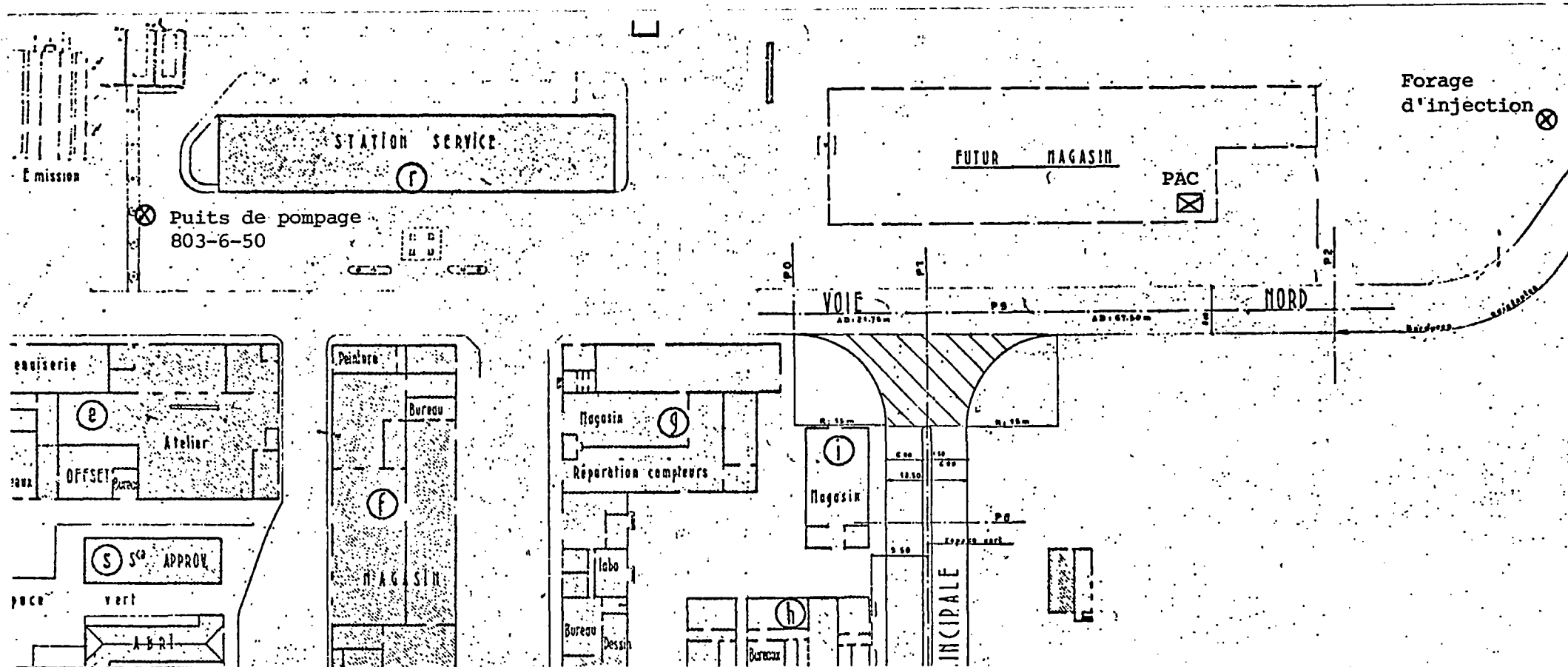
1 - INTRODUCTION

Par lettre de commande du 22 août 1980, les Services techniques de la Régie municipale du Gaz de Bordeaux ont demandé au Service géologique régional Aquitaine du Bureau de recherches géologiques et minières d'étudier les conditions de prélèvement et de réinjection d'eau froide, cette étude étant préalable à la mise en service d'un chauffage par pompe à chaleur dans un futur entrepôt à Bacalan.

Le programme d'étude comportait les points suivants :

- étude de la remise en service d'un ancien puits,
- recherche de l'implantation optimale d'un forage de réinjection,
- étude de la réinjection.

La situation de l'étude est donnée par les figures 1 et 2.



2 - REMISE EN SERVICE D'UN ANCIEN PUIT

2.1 - Examen des documents d'archives

Le puits a été réalisé en mai 1959 après une étude hydraulique préalable à son creusement, en particulier pour dimensionner l'ouvrage.

La coupe technique de ce puits ainsi que la coupe lithologique des terrains traversés sont données sur les figures 3 et 4.

On remarque que la nappe des alluvions de la Garonne est captive sous 14,50 m de terrains argileux imperméables. L'aquifère est constitué de sables, de graviers et surtout de 2,50 m de gros graviers. L'étude hydraulique par pompages sur des forages expérimentaux avait conduit à définir une perméabilité globale de l'aquifère de 4.10^{-4} m/s (M. POUCHAN - Juillet 1959).

Enfin, de nombreux forages traversant la nappe ont rencontré des passées de tourbe et de lignite. Par ailleurs, l'eau s'est toujours montrée très concentrée en fer, celui-ci étant en solution sous forme d'humates de fer responsable de la couleur jaune de l'eau.

2.2 - Remise en état du puits

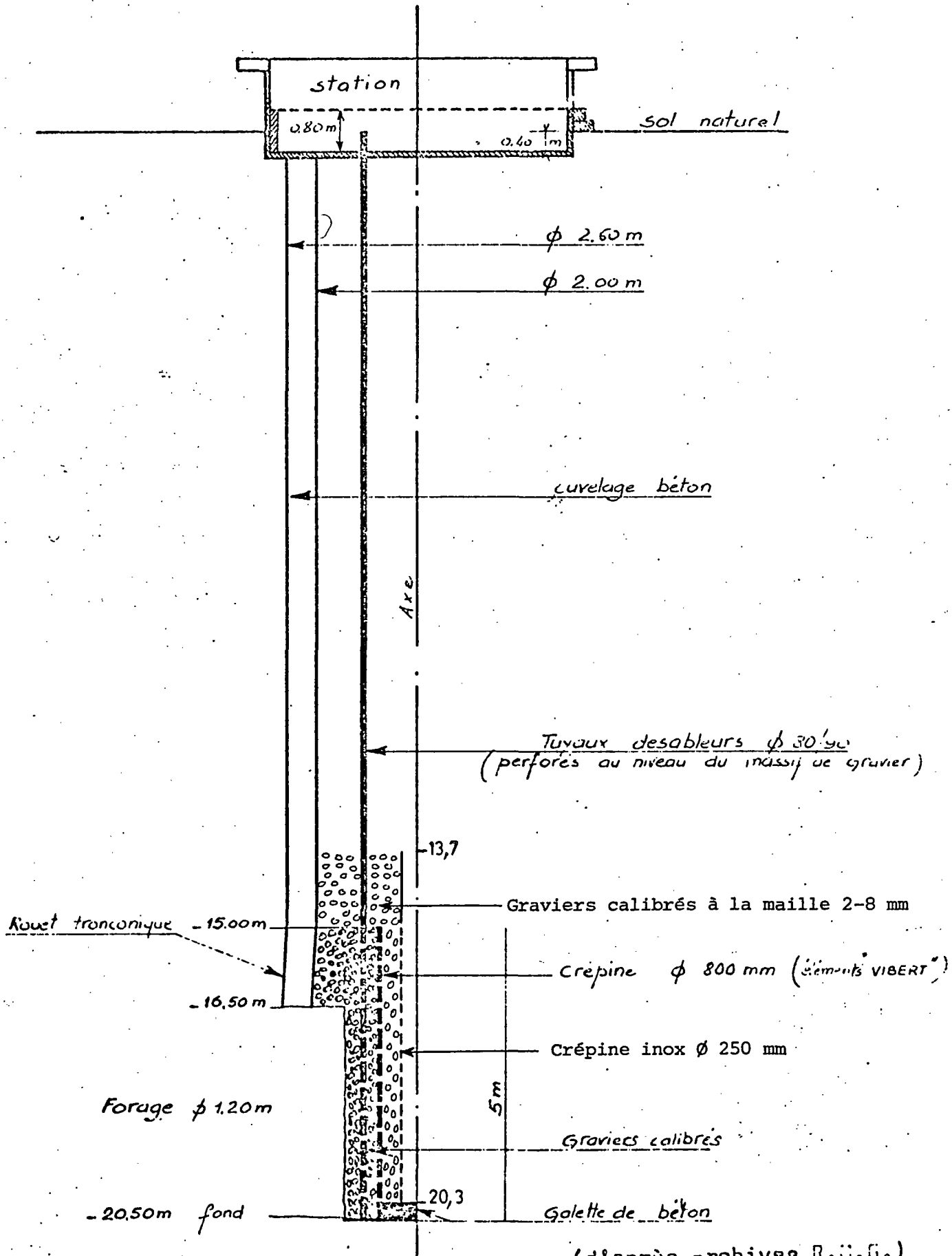
Après dégagement de l'accès du puits, l'entreprise SUD-OUEST FORAGES a procédé au nettoyage de celui-ci. L'élément crépiné original étant endommagé, il a fallu introduire une nouvelle crépine en acier inox de 250 mm de diamètre et disposer un massif filtrant entre la nouvelle crépine et l'ancienne (graviers de taille 3 - 8 mm).

La figure 3 indique les caractéristiques du puits ainsi modifié. L'entreprise a ensuite procédé à un traitement aux hexamétaphosphates de soude afin de nettoyer le massif de graviers des particules argileuses pouvant l'obstruer. Un nettoyage par pompage a permis d'obtenir 72 m³/h pour 2 mètres de rabattement, l'eau étant claire en fin de pompage.

COUPE TECHNIQUE DU Puits DE POMPAGE

- 803-3-50 -

Coupe du Puits de la Régie
municipale du Gaz de Bordeaux --
(Remise en état le 15.9.80)



COUPE LITHOLOGIQUE DU Puits de Pompage

DÉPARTEMENT : GIRONDE

COMMUNE : _____ BORDEAUX

Indice de classement :

803

6

50

DÉSIGNATION : Puits de la Régie municipale du gaz de _____ Cote du sol (z) = +3,50
Bordeaux

Coupe établie par : foreur (d'après les archives de la R.M.G. de Bordeaux.

Interprétation de : M. R. BELLEGARDE. 1961 - (vu Mme BRIAND 1963)

[illegible]

2.3 - Essais de pompage (du 16 au 19 septembre 1980)

Les essais de pompage se sont déroulés en trois phases :

- pompages par paliers de débit croissant,
- pompage de 24 heures à débit continu,
- surveillance de la remontée de la nappe après l'arrêt des pompages.

2.3.1 - Pompages par paliers de débit (16.9.80)

Des pompages d'une heure ont été suivis d'arrêts de même durée, afin de pouvoir disposer, tant en pompage qu'à l'arrêt, d'un niveau d'eau stabilisé. Le tableau ci-après donne les résultats de ces essais.

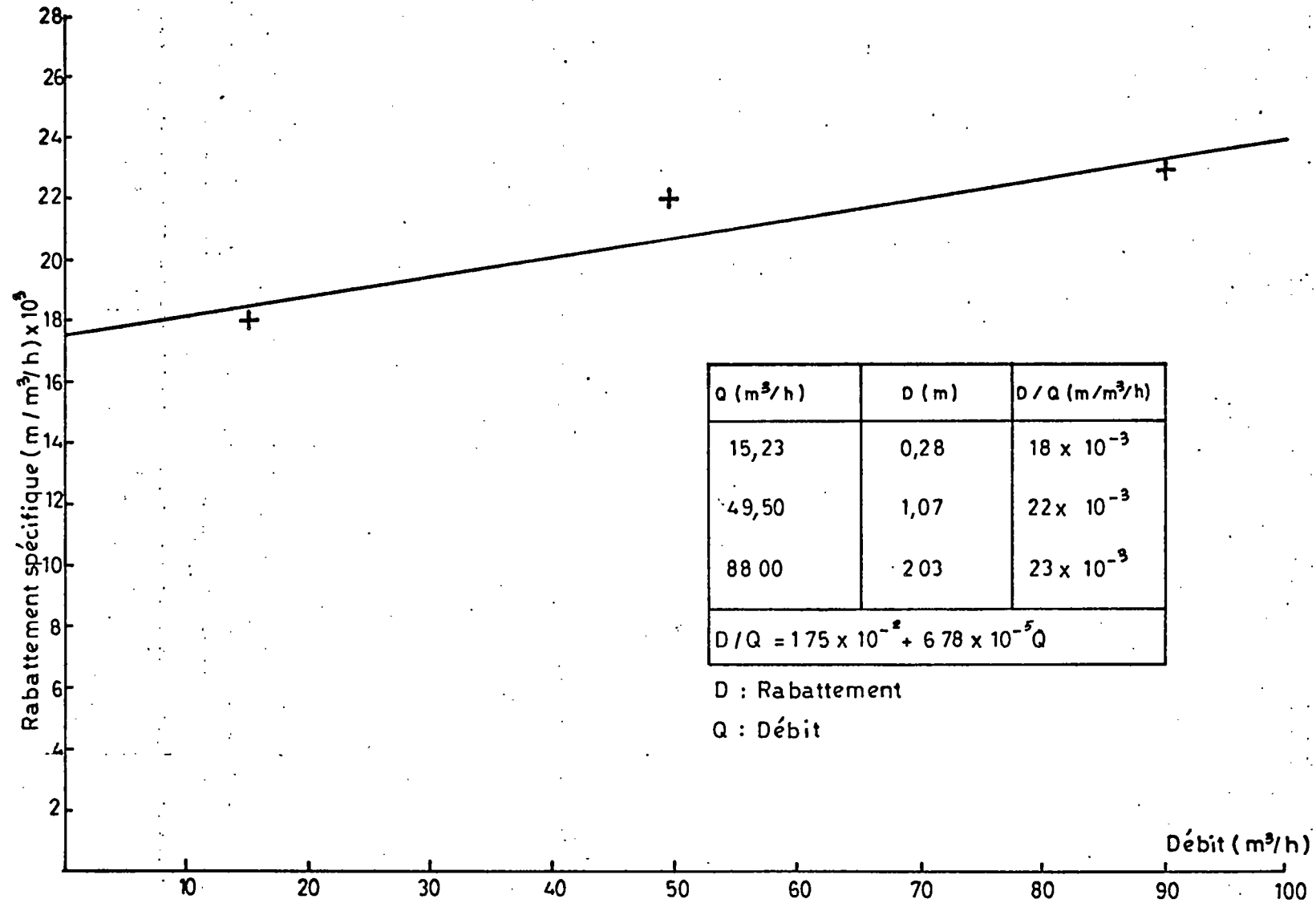
Heure h	Niveau statique m	Débit m ³ /h	Niveau dynamique m	Rabatement en mètres
9 h	3,75	15,23	4,03	0,28
11 h	3,79	34,43	4,69	0,9
13 h	4,02	49,5	5,09	1,07
15 h	4,13	88	6,16	2,03
17 h	4,4	-	-	-

TABLEAU 1 - RESULTATS DES ESSAIS PAR PALIERS DE DEBIT

Le calcul des pertes de charge permet d'extrapoler les rabattements provoqués par des débits importants. Sur la figure 5 ont été portés les rabattements spécifiques en fonction des débits : les points caractéristiques s'alignent selon une droite d'équation générale :

$$D = BQ + CQ^2$$

CALCUL DES PERTES DE CHARGE DU PUIT DE POMPAGE



où :

D est le rabattement cherché pour un débit Q

BQ correspond aux pertes de charge globales dues à l'aquifère et au colmatage (B est l'ordonnée à l'origine de la droite)

CQ² est le terme représentant les pertes de charge quadratiques. Celles-ci comprennent les pertes dues au tubage, à la crépine et aux accessoires (C représente la pente de la droite).

L'équation générale du rabattement s'écrit donc :

$$D = 1,75 \times 10^{-2} + 6,78 \times 10^{-5} Q$$

Pour un débit de 100 m³/h, le calcul nous donne un rabattement D = 2,43 m. Ce point ainsi que les points correspondants à des débits supérieurs se placent nettement plus bas que la droite idéale, indiquant par là une augmentation des pertes de charge quadratique à partir de 100 m³/h (débit critique) (fig. 6).

On a également porté sur la figure 6 les résultats des essais de débits réalisés en juin 1959. On constate que la droite déduite de ces essais se situe nettement sous la courbe expérimentale récente, ce qui traduit une amélioration de la productivité du puits après les traitements chimiques.

2.3.2.- Pompage à débit continu

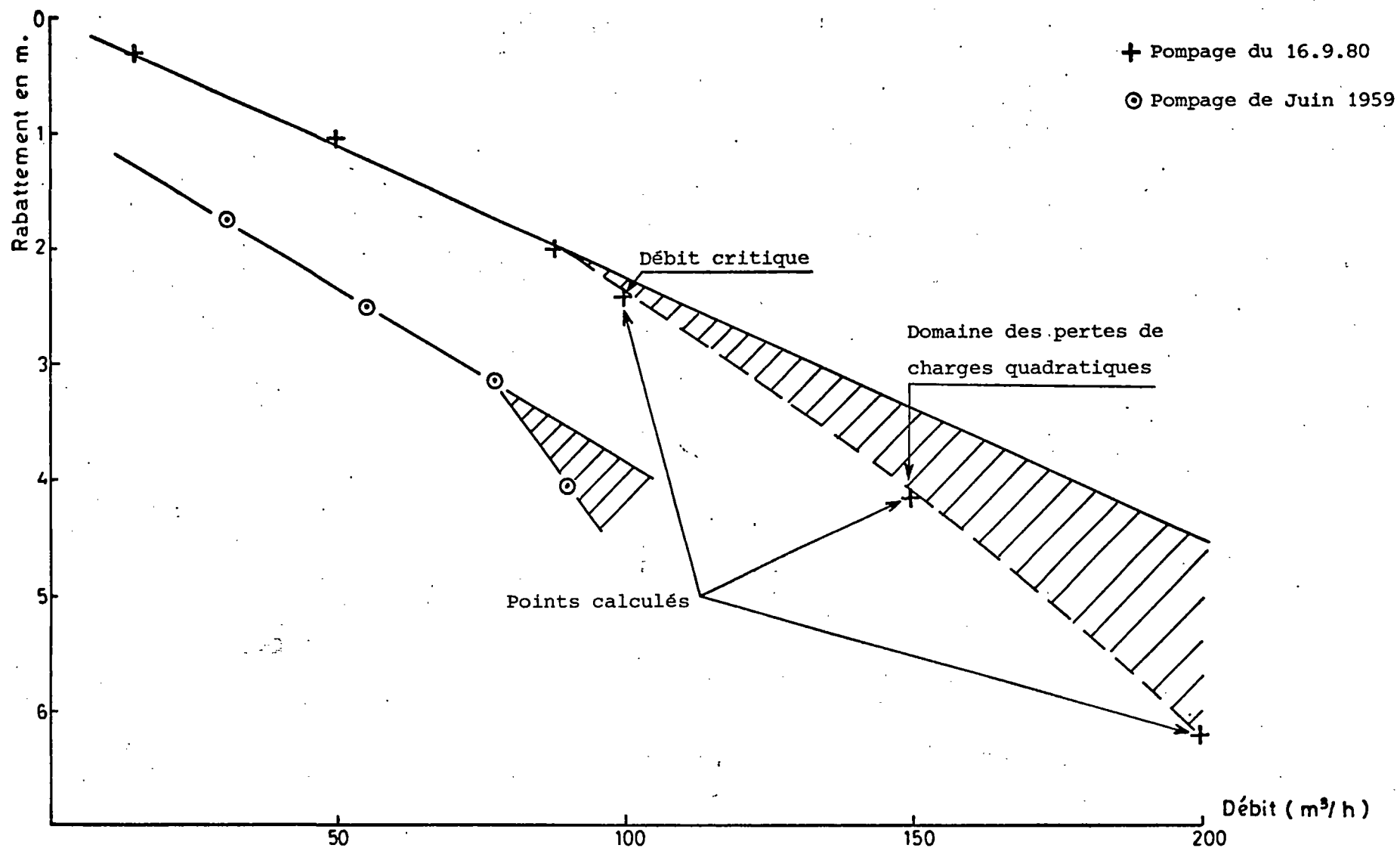
Ce pompage a été réalisé du 17 au 18 septembre 1980 au débit moyen continu de 79,2 m³/h. Les mesures régulières de la profondeur de la nappe (annexe 1) permettent d'établir la courbe de la figure 7 en échelle semi-logarithmique. Celle-ci se superpose à une droite après 150 s, ce qui permet l'approximation de la loi de THEIS par la méthode de JACOB.

La pente de la droite conduit au calcul de la transmissivité (T) de l'aquifère capté :

$$T = \frac{0,183 \times 79,2}{1,08} = 13,42 \text{ m}^2/\text{h}$$

ou $3,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

COURBE CARACTERISTIQUE DU PUIT DE POMPAGE



EVOLUTION DES RABATTEMENTS OBSERVES LORS DU POMPAGE DE 24 HEURES

SUR LE PUIT DE POMPAGE

$\lambda = 108$

Niveau dynamique en m.

5

6

7

10^2

10^3

10^4

Temps en secondes

2.3.3 - Remontée de la nappe après arrêt du pompage

Le 18 septembre 1980, la pompe a été arrêtée à 10 heures 15 minutes, et la remontée de la nappe a été enregistrée par un limnigraphe (fig. 8). Le rapport des points sur un diagramme semi-logarithmique permet d'interpréter la transmissivité (T_p) de l'aquifère :

$$T = \frac{0,183 \times 79,2}{1,2} = 12 \text{ m}^2/\text{h} \\ \text{ou } 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

On note donc la bonne reproductibilité des essais, autant en pompage (descente de la nappe) qu'à la remontée du niveau dynamique. La transmissivité de l'aquifère est donc :

$$3,3 \cdot 10^{-3} < T < 3,7 \cdot 10^{-3} \quad (\text{en m}^2/\text{s})$$

L'enregistrement de la fin de la remontée durant une semaine (fig. 9) indique que la nappe met quatre jours pour retrouver un niveau à stabilité naturelle. Par ailleurs, l'évolution piézométrique de la nappe au repos indique que l'influence des marées ne se fait sentir que sur une hauteur de 0,2 m, ce qui est négligeable.

2.3.4 - Qualité chimique de l'eau

Un échantillon d'eau a été prélevé à la fin du pompage de longue durée pour y effectuer une analyse chimique de type II. On note tout d'abord que l'eau est jaunâtre, couleur due à la présence de fer en excès, et qu'elle est très minéralisée (1 700 mg/l de résidu sec) avec, en particulier, beaucoup de chlorures de sodium et de bicarbonates de calcium.

L'abondance d'ammoniaque et l'absence de nitrates indiquent que l'eau est sous des conditions réductrices. Tout ceci démontre que cette eau est polluée et que son utilisation doit se faire à l'abri de l'air pour éviter tout problème de corrosion et de précipitation du fer. La température de l'eau au moment du prélèvement était de 15,1° C.

Station 9150 RNG

Enregistrement du 18.09 au 19.09-80

Echelle d'altitude 1: 20

OBSERVATION DE LA REMONTEE APRES LE POMPAGE DE 24 HEURES
SUR LE PUIT DE POMPAGE

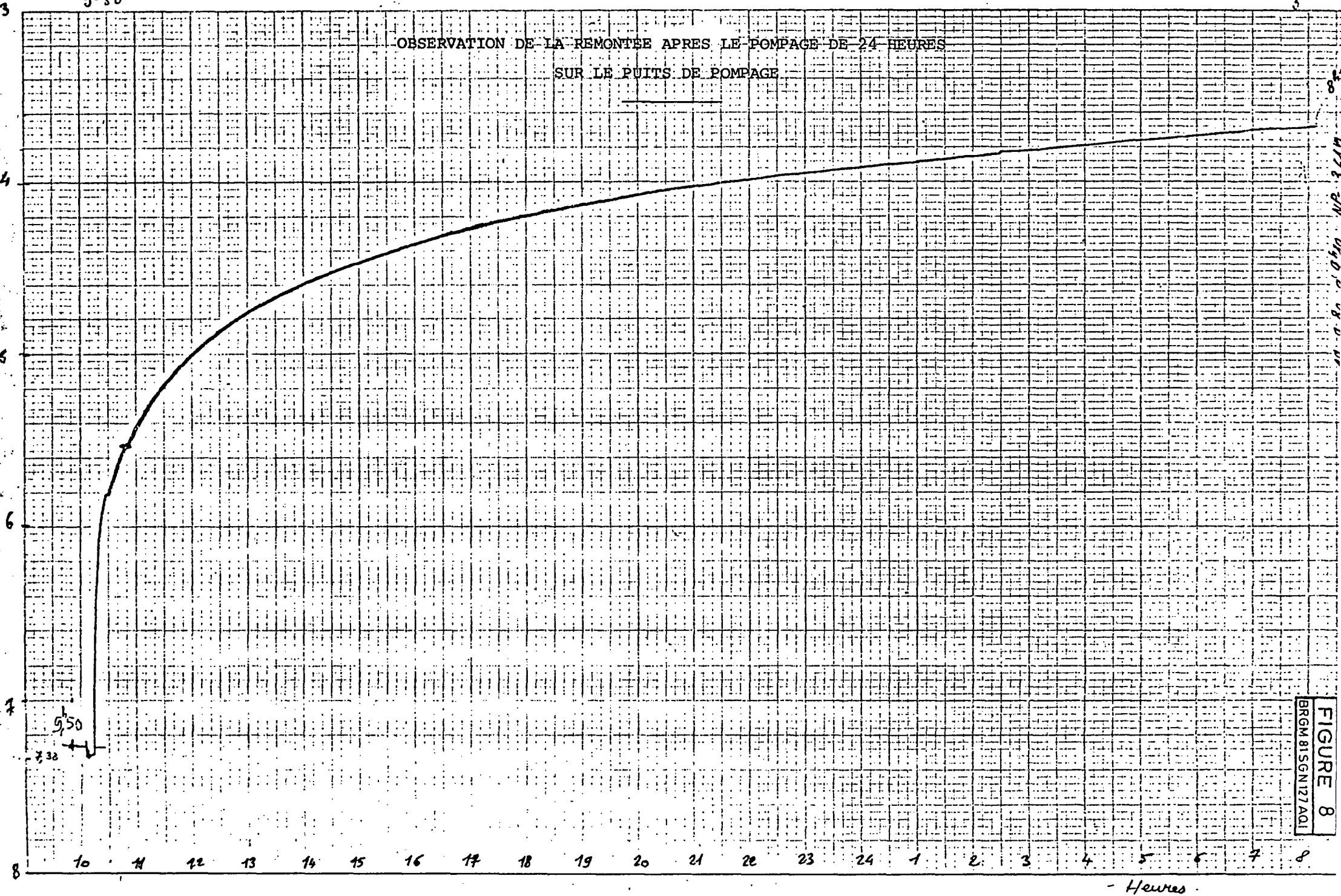


FIGURE 8
BRGM 81SGN127A01

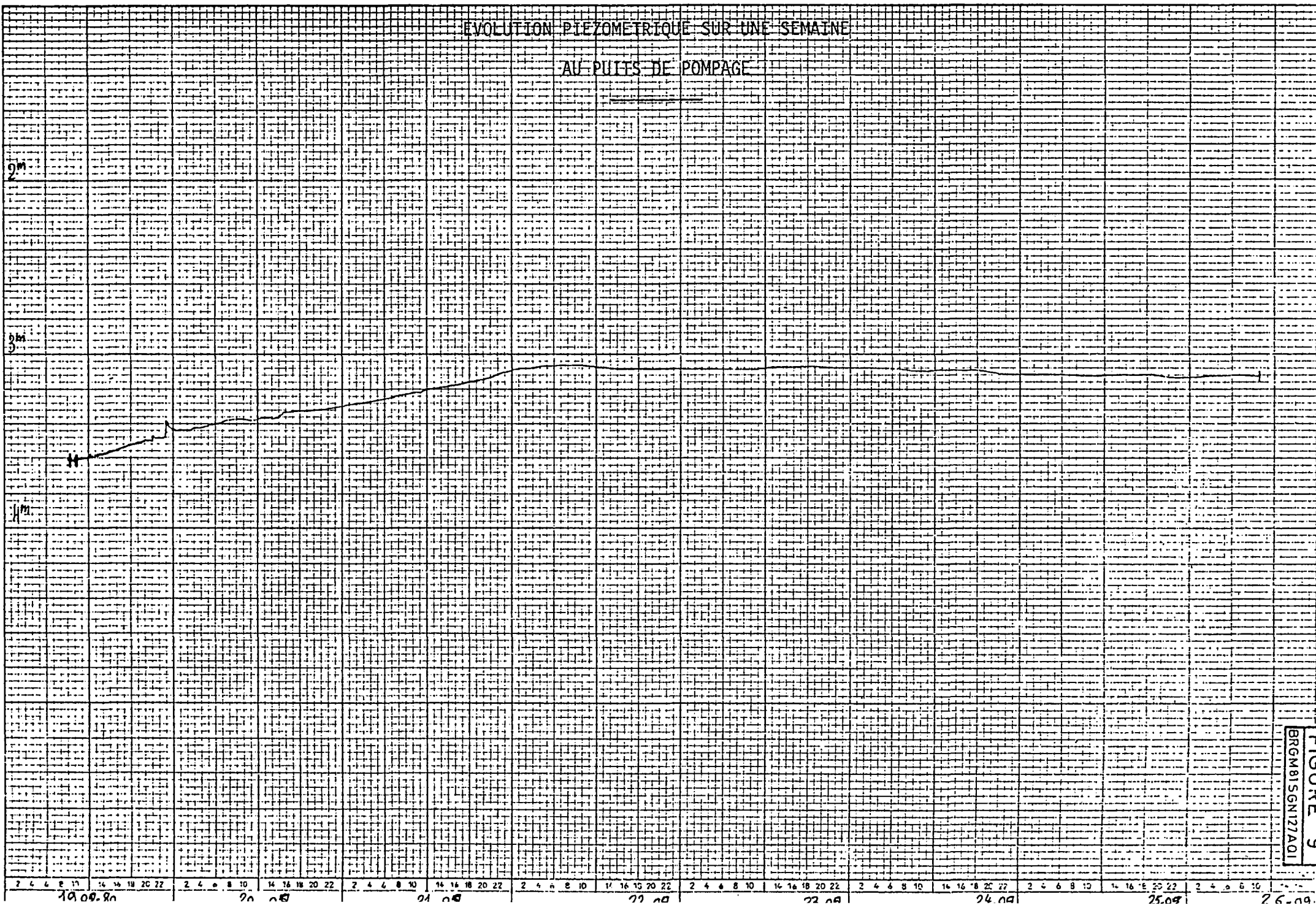
Station.....RMG Bacalan 803-6-50

Enregistrement du.....19.09.80..... au.....26.09.80.....

Echelle d'altitude 1:.....20.....

EVOLUTION PIEZOMETRIQUE SUR UNE SEMAINE

AU PUIT DE POMPAGE



N° 3.67.10
19.9.80 à 26.9.80
BACALAN RE
A.M. 67.

FIGURE 9
BRGM15GN172A01

3 - RECHERCHE DE L'EMPLACEMENT OPTIMAL DE L'INJECTION

3.1 - Généralités

L'implantation d'un forage de réinjection comporte de nombreux paramètres. Dans le cas présent, et compte tenu des conditions d'exploitation du système (débit et température), seuls les paramètres hydrauliques seront importants. Les calculs ont donc trait aux rabattements provoqués au forage d'injection par le pompage et aux pressions demandées pour réinjecter au débit de prélèvement dans l'aquifère.

3.2 - Rabattement de la nappe pour une distance de 200 m (soit la distance du puits de pompage à l'emplacement souhaité par la R.M.G. du futur forage d'injection)

Le rabattement observé sur une nappe captive s'exprime de la façon suivante :

$$s = \frac{Q}{4T} \cdot f(u)$$

avec :

$$u = \frac{v^2 s}{4Tt}$$

Q = débit de pompage continu (15 m³/h)

T = transmissivité (12 m²/h)

S = coefficient d'emmagasinement (10⁻²)

v = distance aux puits de pompage (200 m)

s = rabattement résultant (m)

TABLEAU 2 - RESULTATS DU CALCUL D'INTERFERENCE

DUREE DU POMPAGE t (heures)	u	W (u)	RABATTEMENT s (en m)
24	$3,50 \times 10^{-1}$	0,794	0,08
48	$1,74 \times 10^{-1}$	1,465	0,15
720 (1 mois)	$1,16 \times 10^{-2}$	3,858	0,38
2 160 (3 mois)	$3,86 \times 10^{-3}$	4,948	0,49

En supposant donc un pompage continu de trois mois au débit de 15 m³/h, le calcul donne donc un rabattement induit de 0,5 mètre au point d'injection.

3.3 - Pression à appliquer pour la réinjection

L'eau à réinjecter va se comporter comme en pompage, c'est-à-dire que l'énergie à dépenser sera due aux pertes de charge de l'aquifère lui-même, ainsi qu'aux pertes de charges dues aux accessoires (crépine, massif de graviers...).

L'évolution des niveaux d'eau à partir du début de l'injection va donc être du type :

$$s = \frac{Q}{4T} f(u) \text{ avec } u = \frac{v^2 s}{4Tt}$$

et

$$t = 3 \text{ mois (2 160 heures)}$$

$$T = 12 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$s = 10^{-2}$$

$$v = 0,10 \text{ m}$$

Tous calculs faits, la hauteur d'eau supplémentaire à appliquer pour les conditions de calcul est de 2 mètres. En ajoutant une marge de sécurité de 50 % pour les pertes de charges dues au forage, on obtient une hauteur d'eau de 3 mètres (au-dessus du niveau statique).

4 - MISE EN PLACE DU DISPOSITIF D'INJECTION

4.1 - Généralités

En Décembre 1980, l'entreprise SUD-OUEST-FORAGES a procédé à l'exécution du forage nécessaire à la réinjection des 15 m³/h d'eau transitant par l'échangeur de la P.A.C.

4.2 - Creusement et équipement du forage

Le forage a été creusé en diamètre 350 mm de 0 à 14,20 m, et en diamètre 300 mm jusqu'à 23 mètres. La succession des terrains rencontrés est sensiblement la même que celle de l'ancien puits, à savoir :

- 0 à 17 m : argile et vases
- 17 à 20 m : sables fins
- 20 à 23 m : sables fins et graviers, quelques galets
- 23 à 23,10 m : marnes argileuses

Le forage a été équipé par un tube en acier inoxydable de 0 à 16,70 m, prolongé par une crépine de type JOHNSON (fil enroulé) d'ouverture 1 mm.

Un massif de graviers calibré (2,5 - 7) a été disposé dans l'espace annulaire crépiné, la tête du forage étant cimenté de 14,2 m au sol (fig. 10).

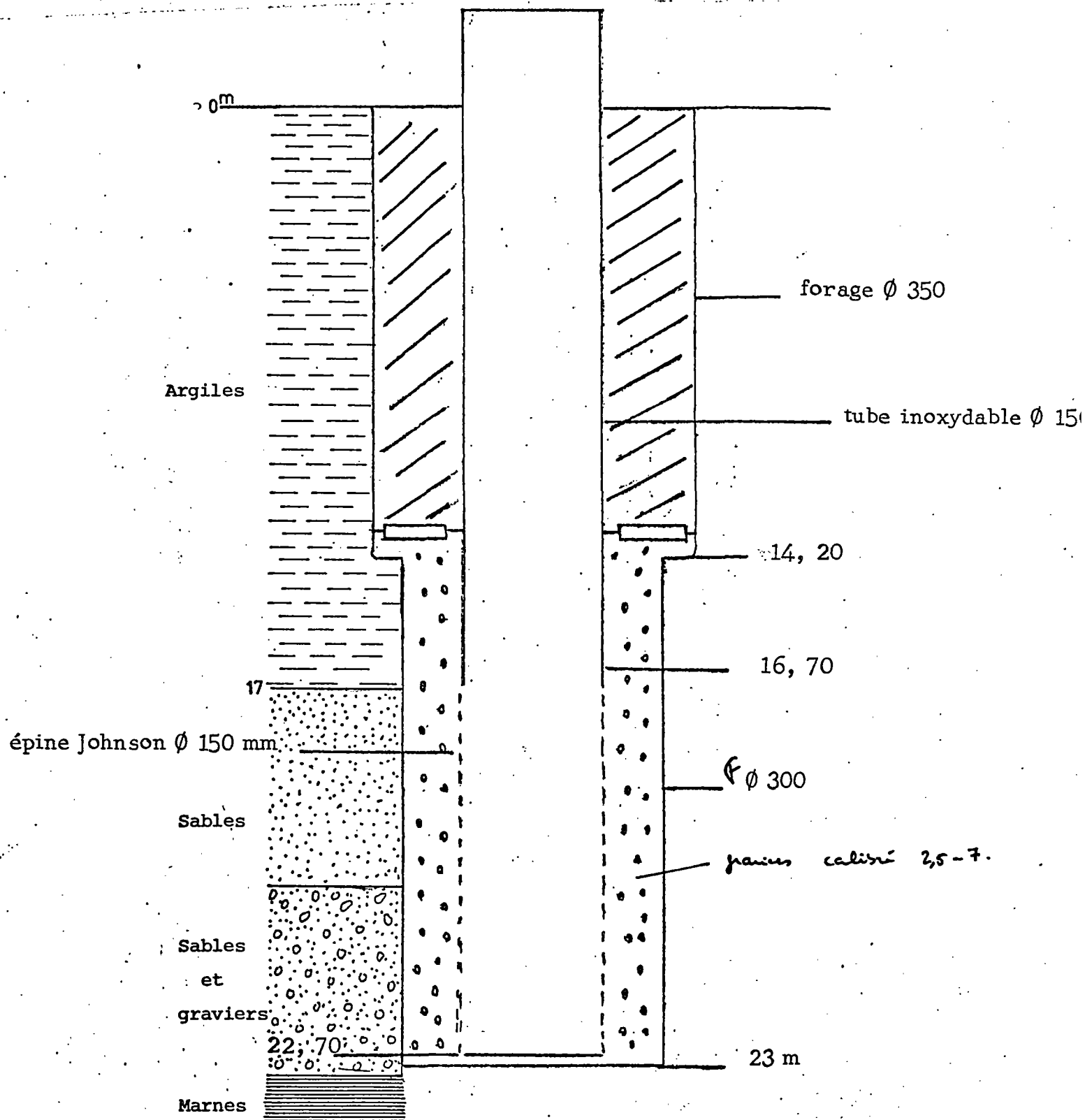
4.3 - Pompage d'essais

Après 24 heures de pompage, les 19 et 20 janvier 1981, le rabattement de la nappe observé au forage d'injection était de 1,37 m, pour un débit de pompage de 9,3 m³/h.

Le débit spécifique en fin de pompage était donc de $1,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (niveau statique : - 4,33 m par rapport à la tête du tubage).

Un rabattement maximum de 0,16 m a été noté à l'ancien puits après 24 heures de pompage au forage.

COUPE TECHNIQUE DU FORAGE D'INJECTION



4.4 - Essais d'injection

Afin de se mettre dans les conditions d'utilisation future du système de puits pompage-injection, une pompe immergée a été disposée dans le puits de pompage et relevé au forage d'injection par une conduite étanche. Le contrôle de débit était réalisé par un compteur, et la mesure de pression par un manomètre situé sur la tête du forage d'injection.

Des essais d'une heure à 15,6 et 30 m³/h ont été effectués, la pression en tête du forage d'injection restant toujours nulle.

Un essai d'injection de longue durée (24 heures) au débit de 16 m³/h n'a également montré aucune montée en pression en tête du forage d'injection.

5 - CONCLUSION

Le système de pompage - injection installé à l'usine de la Régie municipale du Gaz de Bacalan est donc opérationnel, le débit de pompage-injection ne devant pas dépasser 15 m³/h.

Il faut cependant insister sur la composition chimique particulière de l'eau et en particulier sur la teneur en fer qui impose une utilisation de l'eau sans aucun contact avec l'oxygène de l'air.

Par ailleurs, il sera nécessaire d'installer en tête du forage d'injection, un manomètre destiné à surveiller une éventuelle mise en pression du forage à long terme.

DÉSIGNATION Forage de la Régie municipale du Gaz

Indice de
classement

803

6

50

Origine des mesures de niveaux - 0,50 m du sol

Cote du sol :

Cote de l'origine :

NIVEAU PIEZOMÉTRIQUE 3,35 m (9h 10)

DESCENTE

DATE	HEURE en h. mn. s.	TEMPS en secondes	NIVEAU DYNAMIQUE en mètres	Rabattem ^t en mètres	Observation du débit 220 l en s	Débit réel en m ³ /h				
7.09	10 h 15	0	3,39				Niveau légèrement rabattu après deux débuts d'essai interrompus			
		10	3,46							
		20	3,53							
		30	3,59							
		40	3,64							
		50	3,69							
		60	3,74							
		70	3,78							
		80	3,82							
		90	3,86							
		100	3,90							
		110	3,93							
		120	3,96							
		130	4,00							
		140	4,03							
		150	4,05							
		160	4,08							
		170	4,11							
		180	4,14							
		210	4,21							
		240	4,27							
		270	4,32							
		300	4,37							
		360	4,46							
		420	4,53							
		480	4,59							
		540	4,64							
		600	4,69							
		660	4,73							
		780	4,80							
		840	4,83							
	10 h 30	900	4,86							
		1200	4,99		10	79,2				
		1500	5,10							
	10 h 45	1800	5,18				t° eau = 15°1 air = 21°			
		2100	5,26							
		2400	5,34							
	11 h 00	2700	5,39							
		3000	5,45							

50

Cote de l'origine :

[illegible]



LABORATOIRE MUNICIPAL

Institut municipal de recherches sur l'alimentation humaine et animale

Agréé par le Ministère de l'Agriculture
Service de la répression des fraudes

Agréé par le Ministère de l'Environnement
Agréé par l'Agence Nationale
de Valorisation de la Recherche

Laboratoire Régional
agréé par le Ministère de la Santé
Laboratoire de Référence

BORDEAUX LE 30/09/80

BRGM

AVENUE DR A. SCHWEITZER
33600 PESSAC

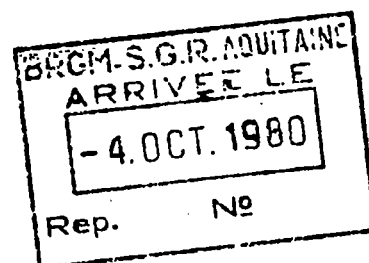
BULLETIN D'ANALYSE

N. ANALYSE : E10656 A
ECHANTILLON : RECU LE 18/09/80

EAU DU 18.09.80 DE BORDEAUX BACALAN - FORAGE
DE LA REGIE MUNICIPALE DU GAZ
ANALYSE CHIMIQUE D'UNE EAU TYPE 2 + NA, K, SiO₂
ET EXTRAIT SEC.

IDENTIFICATION DE L'ECHANTILLON

COMMUNE: BORDEAUX BACALAN
DEPARTEMENT: GIRONDE
LIEU DE PRELEVEMENT: FORAGE DE LA REGIE
MUNICIPALE DU GAZ
ORIGINE DE L'EAU: FORAGE
PROFONDEUR DU FORAGE: 23,50 METRES
EAU NON TRAITEE
EAU PRELEVEE LE 18/09/1980 A 10H00
PRELEVEUR: M. ALLARD
EAU RECUE LE 18/09/1980 A 13H30
PRECIPITATIONS DEPUIS 10 JOURS : ZERO
TEMPERATURE DE L'EAU: 15,1 DEGRES
ANALYSE COMMENCEE LE 18/09/1980 A 13H35



ANALYSE CHIMIQUE

EXAMEN PHYSIQUE

TURBIDITE
COULEUR
ODEUR
DEPOT: ASPECT-NATURE
PH ELECTROMETRIQUE
RESISTIVITE A 20 DEGRES C OHMS/CM2/CM

2000
JAUNATRE
INODORE
FERRIQUE
6,70
385

DEGRES ET TITRES DIVERS

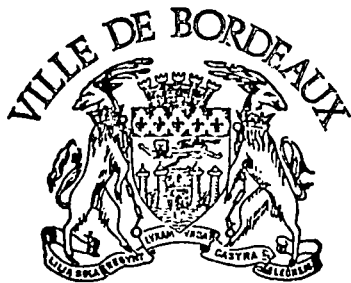
DEGRE HYDROTOMETRIQUE TOTAL (TH)
DEGRE HYDROTOMETRIQUE MAGNESIEN
TITRE ALCALIMETRIQUE SIMPLE (TA)
TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET (TAC)

73,25
32,00
NUL
84,00

MINERALISATION

CARBONATES EN CO₃-- MG/L
BICARBONATES EN HCO₃-- MG/L
CHLORURES EN CL-- MG/L
SULFATES EN SO₄-- MG/L
CALCIUM EN CA++ MG/L

NEANT
1024,80
497
2,7
165



LABORATOIRE MUNICIPAL

Institut municipal de recherches sur l'alimentation humaine et animale

Agréé par le Ministère de l'Agriculture
Service de la répression des fraudes

Agréé par le Ministère de l'Environnement

Agréé par l'Agence Nationale
de Valorisation de la Recherche

Laboratoire Régional
agréé par le Ministère de la Santé
Laboratoire de Référence

BORDEAUX LE 30/09/80

BRGM

2

AVENUE DR A. SCHWEITZER
33600 PESSAC

BULLETIN D'ANALYSE

N. ANALYSE : E10656 A
ECHANTILLON : RECU LE 18/09/80

MAGNESIUM EN MG++	MG/L	78
SODIUM EN NA+	MG/L	334
POTASSIUM EN K+	MG/L	7,65
FER TOTAL EN FE	MG/L	25
CONTROLE CHIMIQUE DE LA POLLUTION		
MAT. ORGAN. EN MILIEU ALCALIN EN O	MG/L	6,4
AMMONIAQUE, SELS AMMONIACAUX EN NH3	MG/L	11,95
NITRITES EN NO2	MG/L	NEANT
NITRATES EN N	MG/L	NEANT
PHOSPHATES EN P2O5	MG/L	NEANT
DETERMINATIONS COMPLEMENTAIRES		
EXTRAIT SEC A 105-110 DEGRES	MG/L	1700
SILICE EN SiO2	MG/L	14,80

LE DIRECTEUR FAUGERE



[Signature]