

**S.A. D'H.L.M. DE SEINE-ET-MARNE**  
**7, rue P. BRUN**  
**77000 MELUN**

**Pompe à chaleur eau-eau pour le chauffage  
de HLM à Bray-sur-Seine  
(Seine-et-Marne)**

**Rapport de fin d'étude**

par

**J. CAMPINCHI, B. MAZENC et Ph. PANET**



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

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

**Service géologique régional ILE DE FRANCE**

65, rue du Général Leclerc - B.P. 34 - 77170 Brie-Comte-Robert  
Tél.: (6) 405.27.07

**RAPPORT DU B.R.G.M.**  
**83 SGN 425 IDF**

**Brie-Comte-Robert, juin 1983**

## RÉSUMÉ

La Société Anonyme Départementale d' H.L.M. de Seine et Marne a confié au Bureau de Recherches Géologiques et Minières - (Service Géologique régional de l'Ile de France - l'étude et la surveillance hydrogéologique de la réalisation d'un doublet géothermique pour pompe à chaleur Eau/Eau.

Pour cela, après une étude de faisabilité (rapport 82 IDF 047) établie à partir de données régionales, deux ouvrages distants de plus de 200 m ont été réalisés et testés. Un essai de réinjection de 48 h au débit maximal d'exploitation à même été effectué ; l'eau renvoyée dans le puits de rejet provenait du puits de pompage.

L'interprétation des différents tests a permis de mieux connaître les conditions locales de la nappe étudiée et de préciser la valeur des paramètres hydrodynamiques et thermiques de l'aquifère. D'après la simulation hydrothermique effectuée à l'aide du modèle Meterniq, on peut conclure à la possibilité d'exploiter la nappe à 52 m<sup>3</sup>/h au maximum pour le fonctionnement de la pompe à chaleur Eau/Eau. C'est le débit recherché pour chauffer durant la période la plus froide les 104 appartements des H.L.M. de Bray sur Seine.

## SOMMAIRE

### RESUME

1. INTRODUCTION	1
2. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE (Fig. 1)	3
3. OUVRAGES	4
4. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES	6
4-1 Résultats obtenus lors du 1er pompage d'essai de nappe	
4-2 Résultats obtenus lors de l'essai de pompage - réinjection	
4-3 Commentaires	
5. SIMULATION HYDRODYNAMIQUE ET HYDROTHERMIQUE	9
5-1 Simulation hydrodynamique	
5-2 Simulation hydrothermique	
6. ANALYSE CHIMIQUE	13
7. CONCLUSIONS	14

Annexe I Réalisation des ouvrages

Annexe II Tableaux et courbes des différents  
pompages et tests réalisés.

## 1. INTRODUCTION

Par la lettre du 27 décembre 1982, la Société Anonyme Départementale d'H.L.M. de Seine et Marne, a demandé au Bureau de Recherches Géologiques et Minières - Service Géologique Régional d'Ile de France, d'assurer le suivi des travaux de forages et de pompages prévus pour l'installation d'une pompe à chaleur PAC eau/eau à Bray sur Seine (77), Cité de Briolles.

Une première étude (rapport 82 IDF 047) avait montré la faisabilité du doublet géothermique pour un débit de pointe de 52 m<sup>3</sup>/h à partir de données régionales.

Pour confirmer ces hypothèses il était nécessaire de réaliser un doublet afin de vérifier si les paramètres hydrodynamiques et thermiques correspondaient à ceux retenus dans l'étude de faisabilité. Deux ouvrages, un de pompage et un d'injection ont été exécutés par l'entreprise Huillet, sur l'emprise de la Cité de Briolles à la distance maximale possible (215 m environ), compte tenu du sens d'écoulement de la nappe et de l'emplacement disponible.

Des essais de puits et de nappes ont été effectués après la réalisation de chaque forage pour connaître les caractéristiques des ouvrages et celles de la nappe testée.

Un essai de réinjection de 48 h a enfin été réalisé confirmant les hypothèses émises lors de la réalisation des travaux.

Une modélisation des échanges thermiques dans l'aquifère, à l'aide du programme METERNIQ\* dont les paramètres ont été déterminés lors des différents essais, nous a permis de conclure à la possibilité d'utilisation d'une PAC pour le chauffage des H.L.M de Bray sur Seine.

---

\* Modèle pour l'Evaluation des Températures à la suite de Reinjection dans une Nappe avec une Iplantation Quelconque des puits.

## 2. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET HYDROGEOLOGIE

Les H.L.M. de la Cité Briolles de Bray sur Seine se situent au Sud du village à environ 1 km au Sud de la Seine (Fig. 1).

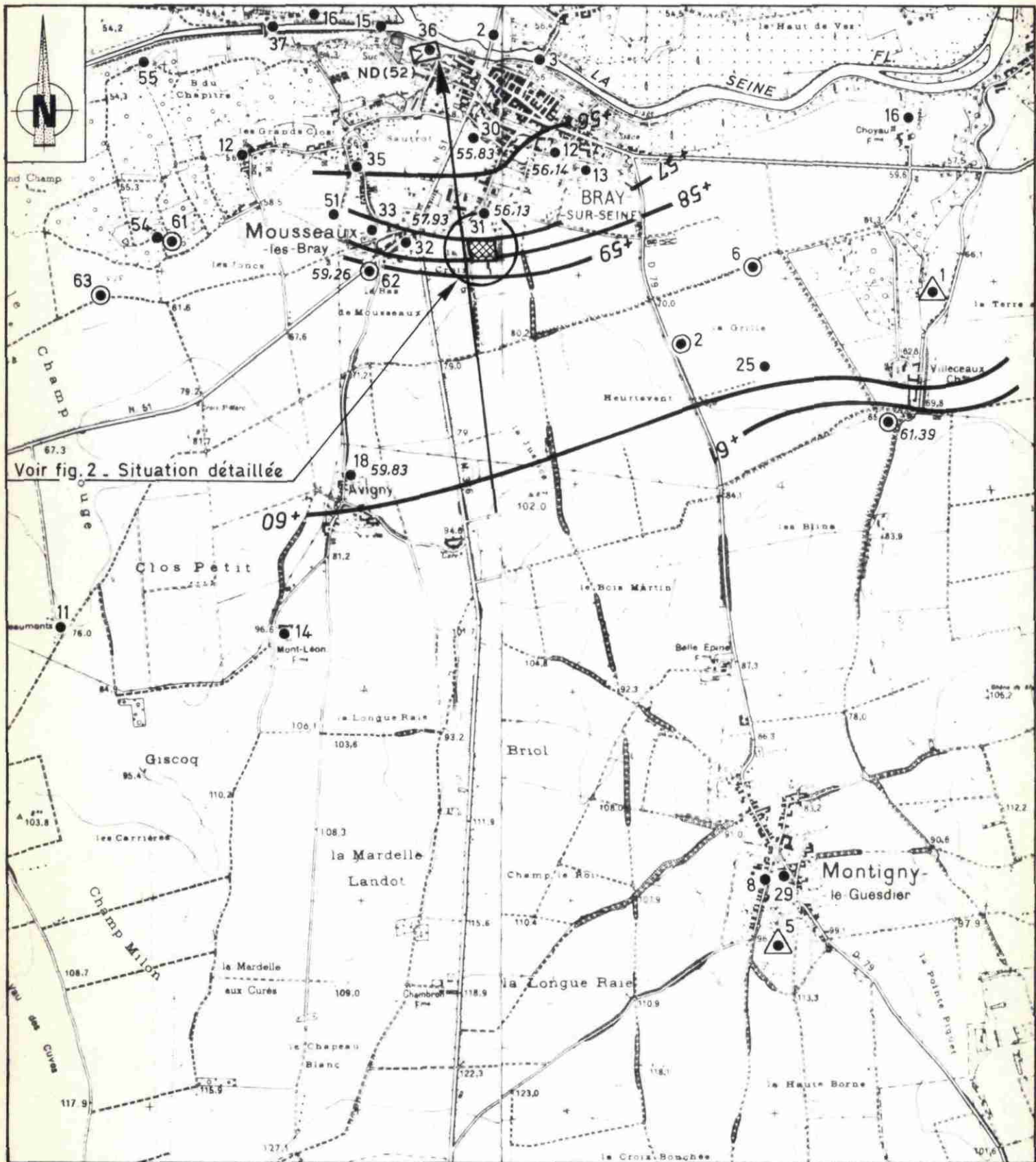
Un inventaire détaillé des données de la banque du sous-sol lors de l'étude de faisabilité\* avait permis d'extrapoler la géologie au droit de la Cité de Briolles ainsi que le sens et le gradient de la nappe d'eau dans l'aquifère crayeux.

La réalisation des deux forages ainsi que des mesures de niveaux d'eau dans les différents ouvrages a permis de confirmer les hypothèses émises en ce qui concerne la géologie (craie sous faible recouvrement alluvial). En ce qui concerne le gradient de la nappe au droit des H.L.M. il semble plus important (1 %) et de direction Nord Nord Est.

---

\* rapport 82 IDF 047

Situation hydrogéologique générale



Voir fig. 2 - Situation détaillée

- Captage pour l'irrigation
- △ Captage d'eau potable AEP
- ⊠ Captage de la sucrerie de Bray
- Puits et forage de reconnaissance diverse
- 59.26 Cote de nappe de la craie le 27.10.82
- 60 Isopièze de la nappe
- Sens d'écoulement de la nappe
- ⊞ Emprise des H.L.M

296.1.2 Numéro d'indice national par huitième de feuille

Echelle : 1 / 25 000

### 3. OUVRAGES

Deux forages ont donc été réalisés sur l'emprise des 104 logements (fig.2) : l'ouvrage d'exhaure à l'extrémité sud est du terrain ; le puits de reinjection à l'extrémité nord ouest, c'est à dire en position aval écoulement la plus éloignée du point de pompage. Ces deux ouvrages ont une profondeur voisine de 30 m et ont été exécutés par l'entreprise Huillet (Annexe I Calendrier des opérations de forages).

#### 3.1 - Coupe de l'ouvrage d'exhaure (fig.3).

La vitesse à l'avancement et les échantillons prélevés permettent d'établir la coupe suivante :

- 0 à 1 m terre végétale
- 1 à 5 m alluvions devenant de plus en plus calcaire avec silex
- 5 à 10 m craie blanche grumeleuse faible et altérée
- 10 à 13 m craie jaunâtre grumeleuse et marneuse (altérée)
- 13 à 30 m 40 craie compacte.

Une diagraphie au Gamma Ray a été effectuée le 10.3.82 et permet de confirmer la coupe de sondage (fig.3).

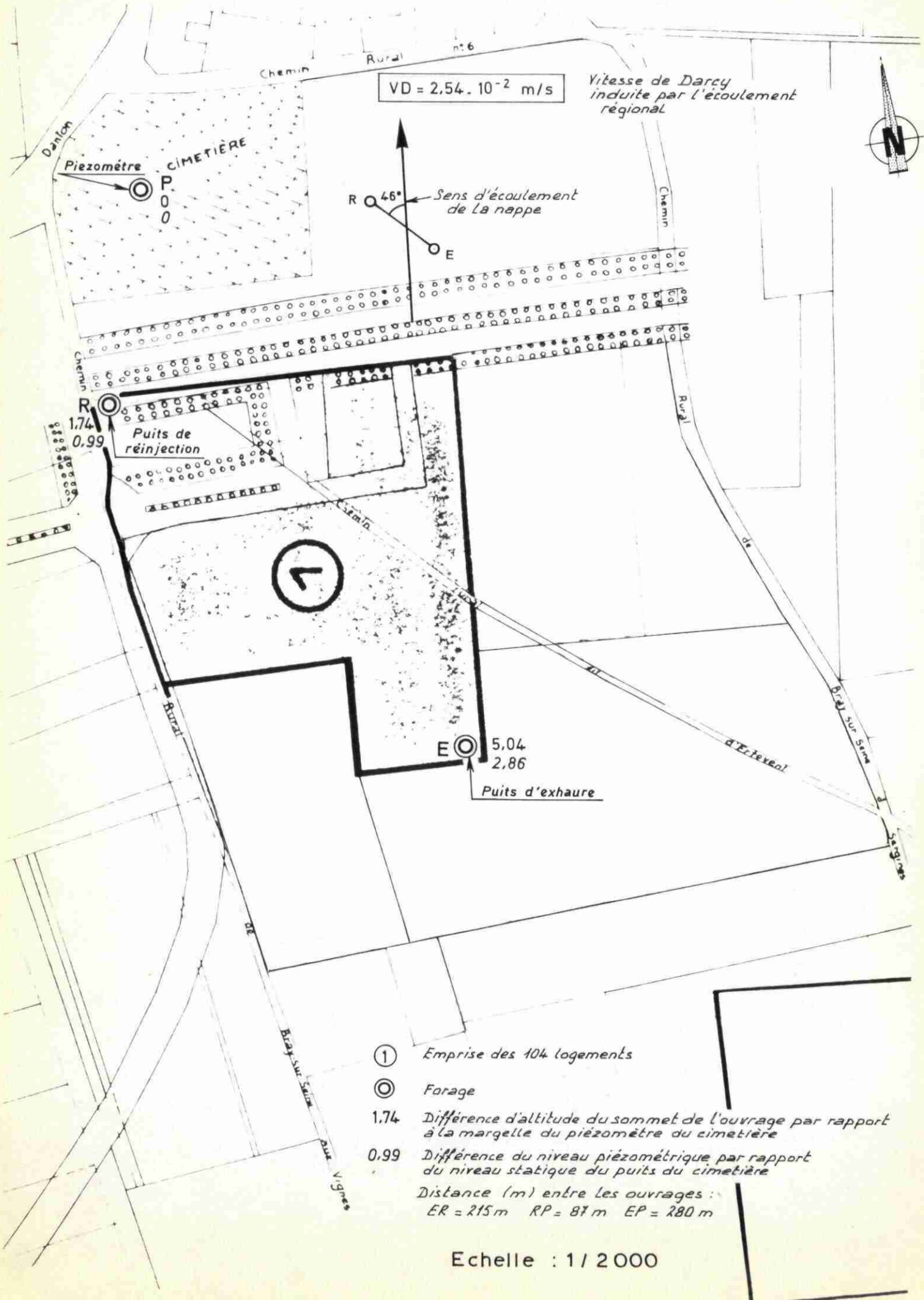
#### 3.2 - Coupe de l'ouvrage de reinjection (fig.4).

Les échantillons prélevés et la vitesse à l'avancement permettent d'établir la coupe suivante :

- 0 - 0,9 m Terre végétale
- 0,9 - 2       Sable fin
- 2 - 3       Sable fin plus quelques gravillons
- 3 - 4       Argile sableuse
- 4 - 5       Sable argileux + silex



Situation détaillée

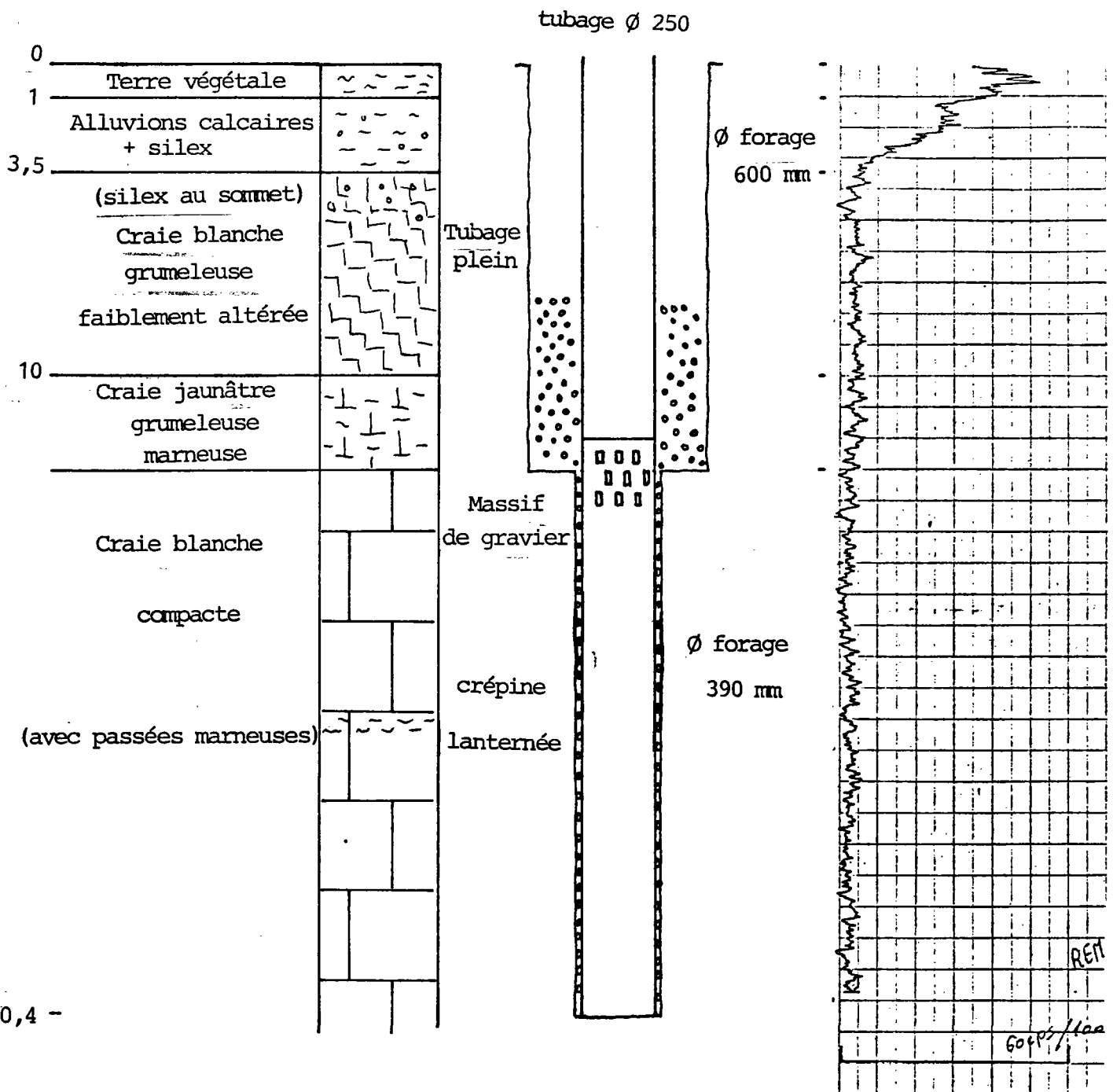


OUVRAGE D'EXHAURE

COUPE GÉOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE

GAMMA-RAY



- 5 - 6 m Sable argileux + silex + craie altérée
- 6 - 21 Craie compacte
- 21 - 23 Craie jaunâtre
- 23 - 31 Craie compacte

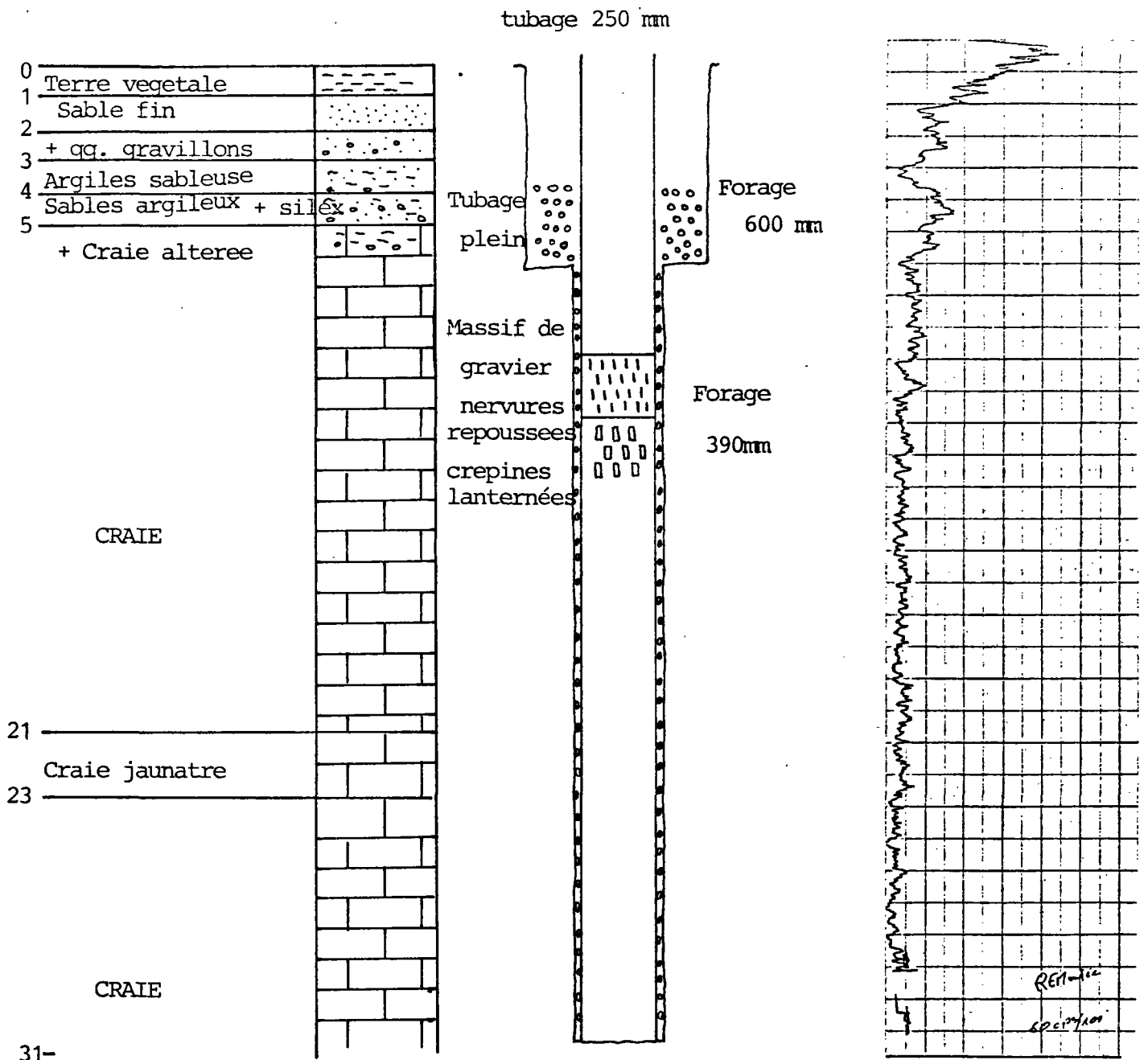
Une diagraphie Gamma Ray a été effectuée le 25.8.83 ; elle précise les données précédentes (fig.4).

OUVRAGE D'INJECTION

COUPE GÉOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE

GAMMA-RAY



#### 4. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Les caractéristiques hydrodynamiques sont déduites des interprétations des différents essais réalisés au cours de l'étude (Annexe II)

Nous distinguons 2 types d'essai :

- Les essais de puits (pompage par paliers et injection) :
  - . 5 de ces essais ont été réalisés sur l'ouvrage d'exhaure
  - . 3 de ces essais ont été réalisés sur l'ouvrage de réinjection
  
- Les essais de nappe (essai de longue durée) :
  - . 2 essais ont été nécessaires sur l'ouvrage d'exhaure à la suite d'une panne de pompe lors du 1er test,
  - . 2 essais de pompage-réinjection ont été réalisés : le premier ne pouvant être exploité faute de connaissance du débit (panne du compteur).

Ces essais ont été complétés par des tests au micromoulinet (Annexe II) permettant de mettre en évidence les zones les plus perméables de l'aquifère au niveau des forages.

##### 4.1 - Résultats obtenus lors du 1er pompage d'essai de nappe.

L'interprétation de la courbe des rabattements au niveau du puits en fonction du temps de pompage et du débit nous a permis de déterminer une fourchette de valeur de la transmissivité comprise entre  $10^{-3}$  et  $3.10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

Cette baisse de transmissivité est liée à un fort rabattement au niveau de l'ouvrage, avec augmentation des pertes de charge. Aucun calcul

d'emmagasinement n'a été possible faute de piézomètre suffisamment proche.

#### 4.2 - Résultats obtenus lors de l'essai de pompage-réinjection.

Les résultats sont présentés dans le tableau I ci-après.

#### 4.3 - Commentaires.

L'ensemble des résultats obtenus conduit à retenir pour valeurs caractéristiques de l'aquifère une transmissivité de  $3 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s et un coefficient d'emmagasinement de 5 %. Ces valeurs correspondent à celles habituellement rencontrées dans les terrains de même nature.

L'utilisation des tests au micromoulinet, qui permettent de connaître l'épaisseur de nappe productive (17 m pour le puits d'exhaure, 14 m pour le puits de réinjection), donnent une perméabilité moyenne de  $2 \cdot 10^{-4}$  m/s qui correspond à la valeur trouvée lors du pompage d'essai sur le puits d'exhaure.

Le nivellement des ouvrages (fig.2) ainsi que des mesures simultanées de niveau piézométrique permettent de calculer les gradients ou pentes élémentaires suivantes :

- puits d'exhaure - puits de réinjection	8,7 ‰
- puits d'exhaure - piézomètre cimetière	10,2 ‰
- puits de réinjection - piézomètre cimetière	11,4 ‰

Ce qui nous donne un gradient hydraulique résultant local de : 1,15 % orienté vers le NNE (cf. fig. 2)

TABLEAU I. RESULTATS OBTENUS LORS DE L'ESSAI DE POMPAGE-REINJECTION

	Puits d'exhaure		Puits de réinjection		Piézomètre du cimetière	
	Baisse de niveau durant le pompage	Remontée des niveaux après arrêt des pompes	Montée des niveaux durant la réinjection	Redescente des niveaux après arrêt la réinjection	Montée des niveaux durant la réinjection	Redescente des niveaux après arrêt de la réinjection
Transmissivité m <sup>2</sup> /s	3.10 <sup>-3</sup>	-	5.10 <sup>-3</sup>	3.10 <sup>-3</sup>	5.10 <sup>-3</sup>	6.10 <sup>-3</sup>
Emmagasinement %	-	-	-	-	5	-

1  
8  
1

## 5 . SIMULATION HYDRODYNAMIQUE ET HYDROTHERMIQUE

### 5.1 - Simulation hydrodynamique

Les courbes de rabattement au niveau du puits d'exhaure (fig.5) et au niveau de l'ouvrage de réinjection (fig.6) présentent les rabattements théoriques obtenus après un certain nombre d'heures de pompage (axe des abscisses).

Ces courbes ont été calculées pour un débit continu de  $52 \text{ m}^3/\text{h}$  en prenant en compte les pertes de charges et l'effet de la réinjection qui, compte tenu de la distance entre les deux ouvrages, se font ressentir du point de vue pression\* au bout de 4 jours environ (Annexe II).

Dans les conditions des essais, on peut résumer ces courbes dans le tableau II ci-après.

---

\* L'influence du puits de réinjection sur le puits d'exhaure se fait ressentir au point de vue pression c'est à dire que l'on a stabilisation de rabattement au bout de 4 jours de pompage. Cependant cette influence n'a pas de relation avec l'influence thermique comme nous le verrons lors de la simulation hydrothermique.



Rabatement (m) en dessous du niveau de la nappe au repos (12,05m sous le sol)

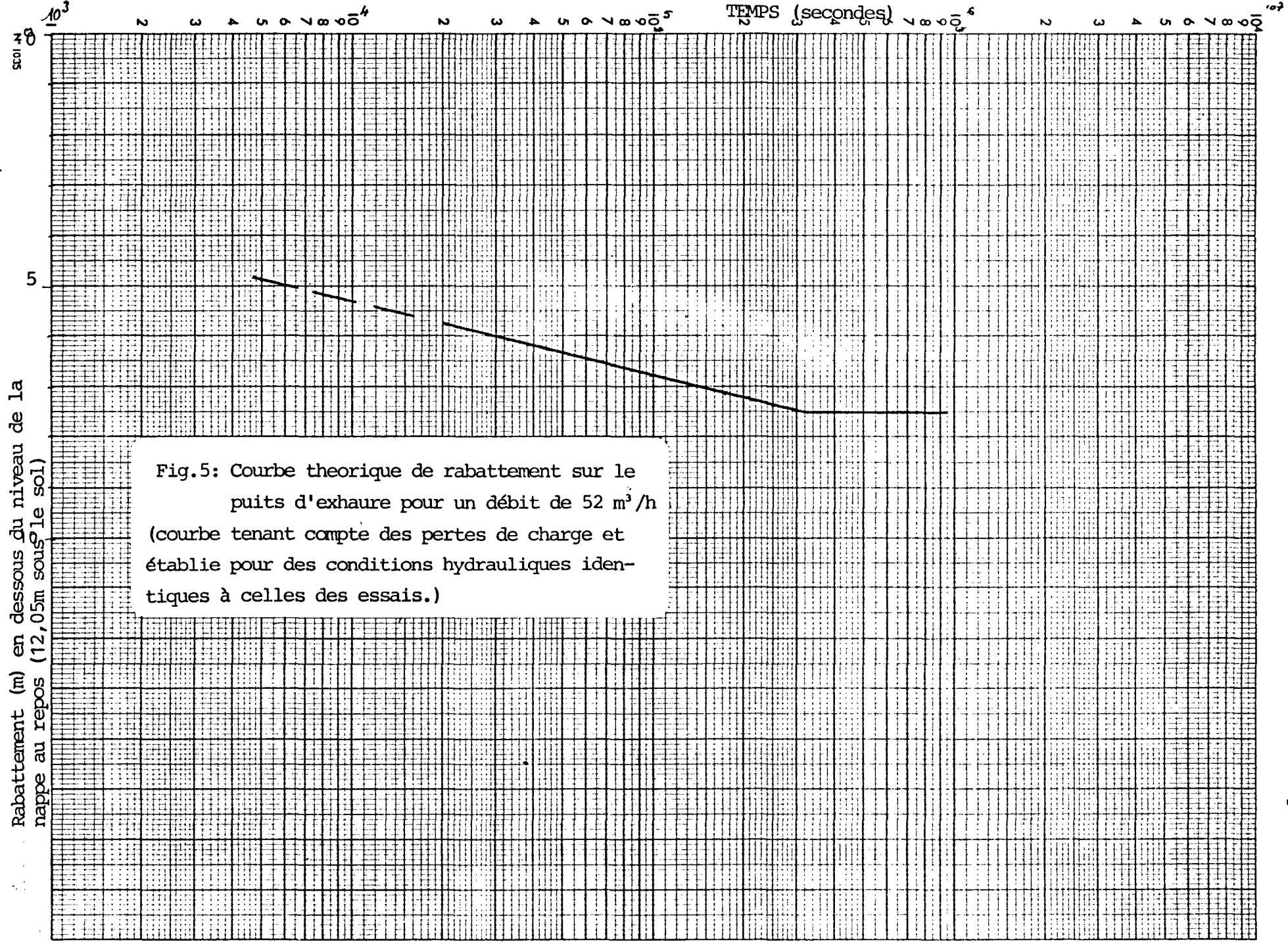


Fig. 5

Remontée (m) des niveaux au dessus de celui de la nappe  
au repos ( 10,62 m sous le sol)

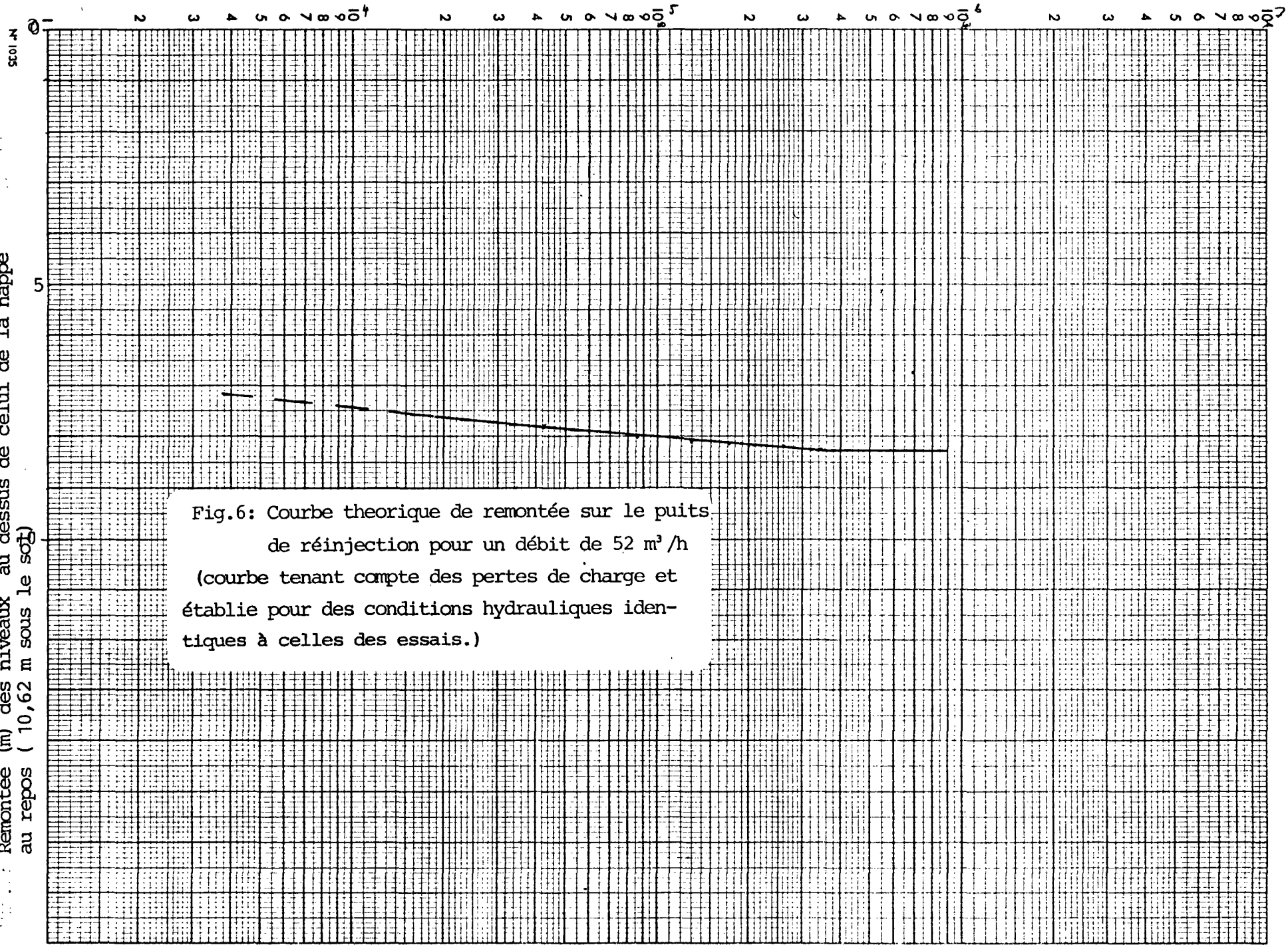


Fig.6: Courbe theorique de remontée sur le puits  
de réinjection pour un débit de 52 m<sup>3</sup>/h  
(courbe tenant compte des pertes de charge et  
établie pour des conditions hydrauliques iden-  
tiques à celles des essais.)

TABLEAU II. COURBES DE RABATTEMENT LORS D'UNE SIMULATION HYDRODYNAMIQUE

Pour un débit de 52 m <sup>3</sup> /h	D U R E E D E P O M P A G E						
	12 H	24 H	36 H	48 H	72 H	Stabilisation 3 jours 23 H	96 H
Rabattement dans le puits d'exhaure (m) * en dessous du niveau de la nappe au repos établie à 12,05 m sous le sol	6,25	6,7	7,0	7,1	7,4	7,5	7,5
Remontée dans le puits d'injection (m) * au-dessus du niveau de la nappe au repos établie à 10,62 m sous le sol	- 7,8	- 8,0	- 8,1	- 8,15	- 8,2	- 8,25	- 8,25

- 10 -

Remarque. Le phénomène de réinjection est théoriquement un phénomène symétrique du phénomène de pompage. En fait, il y a une différence entre les deux variations de niveaux. Ceci est dû aux pertes de charges plus importantes lors de la réinjection que lors du pompage ainsi qu'aux paramètres hydrodynamiques différents de l'aquifère au droit de chacun des deux ouvrages.

\* voir page 9 (\*)

## 5.2 - Simulation hydrothermique.

Les paramètres fournis par les tests et retenus pour la simulation hydrothermique sont les suivantes :

- Deux puits distants de 215 mètres
- Aquifère sollicité : Craie
- Niveau productif de 14 m d'épaisseur
- Gradient de la nappe : 1,15 %
- Transmissivité  $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- Vitesse réelle d'écoulement naturel : 78,8 m/an
- Température de l'eau 12°C

En fonction du type d'exploitation de l'ouvrage (Tableau III) on peut considérer un débit horaire moyen extrapolé sur l'année de 18,2 m<sup>3</sup>/h.

TABLEAU III. PROBABILITE D'UTILISATION DE LA NAPPE SOUTERRAINE  
(fournies par GEV le 15 novembre 1982)

Température extérieure (°C)	Débit moyen d'utilisation (m <sup>3</sup> /h)	Nombre de jours d'utilisation sur 24 h	Nombre d'heures d'utilisation sur 24 h	Volume global correspondant (m <sup>3</sup> )
- 9 à + 1	52	35	20	36 400
+ 2 à + 4	-	36	17	31 824
+ 5 à + 7	-	51	14	37 128
+ 8 à + 10	-	54	12	33 696
+ 11 à + 13	-	42	8	17 472
+ 14 à + 16	-	21	3	3 276
TOTAL		239		159 796

La simulation effectuée à l'aide du modèle METERNIK nous a permis de calculer le comportement thermique de l'aquifère pour les conditions d'exploitation fournies. Le modèle nous a montré (fig. 7) qu'en aucun cas nous n'avons de recyclage compte tenu du gradient de nappe assez élevé. Les fluctuations de température au niveau du puits d'exhaure ne pourront être imputable qu'à des variations naturelles de celle-ci.

Cependant il n'est pas possible d'utiliser cette nappe à un débit plus important car le puits d'exhaure est actuellement exploité au voisinage de son débit critique.

$Q = 18.3 \text{ M}^3/\text{H}$

$K = 3 \text{ E}10^{-4} \text{ M}/\text{S}$

$D = 215 \text{ M}$

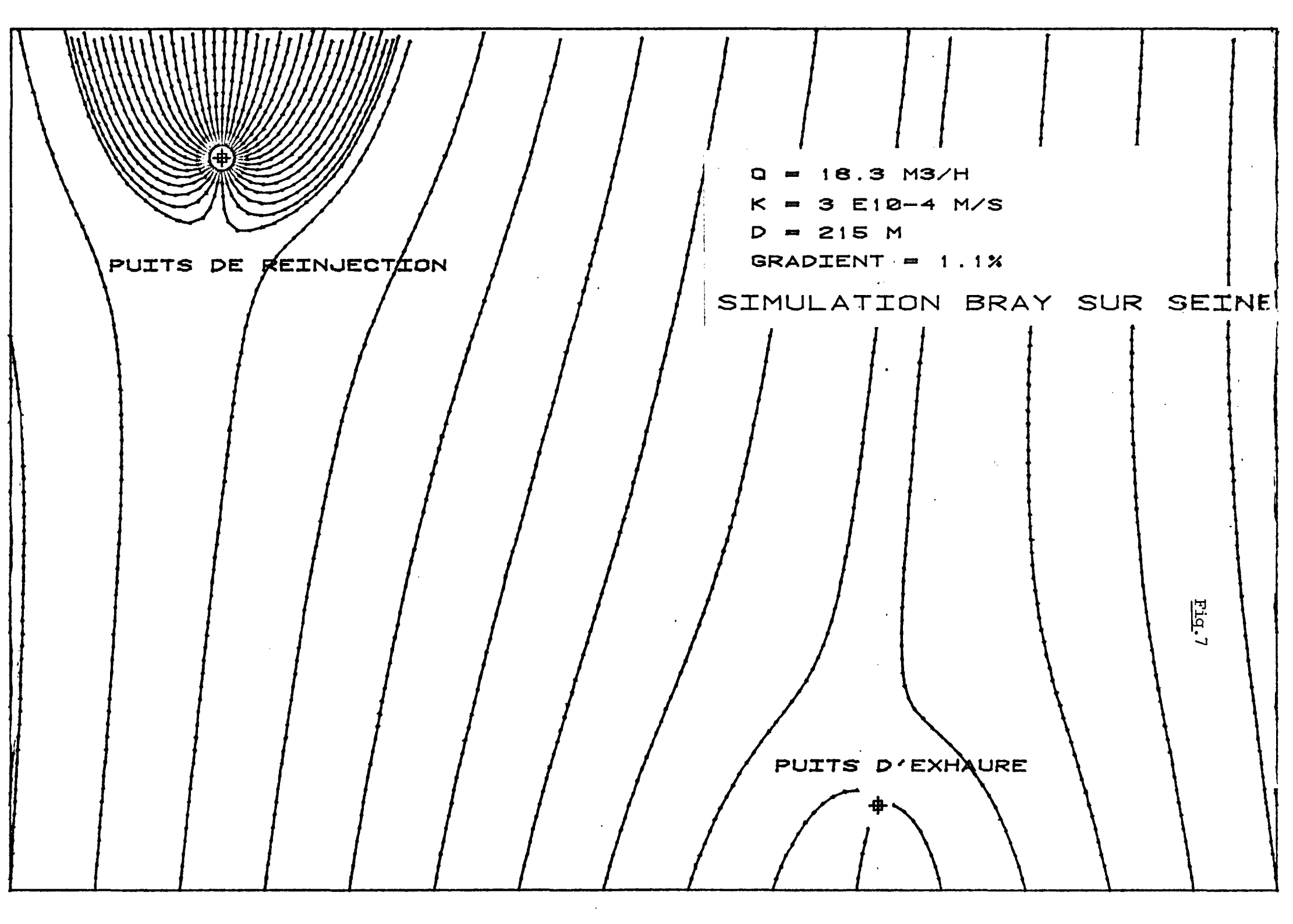
GRADIENT = 1.1%

SIMULATION BRAY SUR SEINE

PUITS DE REINJECTION

PUITS D'EXHAURE

Fig. 7



## 6. ANALYSE CHIMIQUE

Une analyse chimique a été effectuée sur des eaux prélevées lors du pompage d'essai de 48 heures. Les résultats sont présentés page suivante.

La teneur élevée en chlorures est liée aux différentes acidifications effectuées à l'aide d'acide chlorhydrique.

A priori, suivant les résultats obtenus, il n'y a pas à craindre de colmatage des ouvrages entraînant une baisse de leur productivité.

Cependant afin de s'assurer de la bonne marche du doublet, il serait souhaitable de faire régulièrement (une fois par an) un essai en vraie grandeur. C'est à dire qu'en période de chauffe, un pompage durant 24 heures au débit de  $52 \text{ m}^3/\text{h}$  serait effectué avec suivi des niveaux dans les deux ouvrages. Cette opération ne gênerait en rien le fonctionnement normal du système de chauffage. L'interprétation de ce test permettra de voir l'évolution des ouvrages au cours du temps et d'intervenir au moment opportun pour un nettoyage éventuel.

Laboratoire agréé par les Ministères  
de la Santé et de l'Environnement

3, Rue Barthel - 77000 MELUN  
Tél. 068-89-90

ANALYSE D'EAU effectuée pour le compte de :

B. R. G. M.

B.P. 34

77170 BRIE COMTE ROBERT

N° d'analyse : 83B/1540

Echantillons ~~prélevés~~ déposés le : 6 AVRIL 1983

Provenance : BRAY SUR SEINE (77) H.L.M.  
forage à la craie après 48 h. de  
pompage

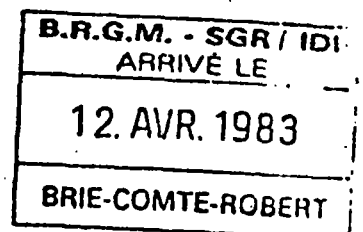
TAXES :

CARACTERISTIQUES ORGANOLEPTIQUES ET PHYSIQUES

Aspect .....	clair		
Odeur .....	néant		
Saveur .....			
Couleur .....	néant		
Turbidité (en goutte de mastic) .....			
pH .....	7,3	après marbre	7,0
Résistivité électrique en Ohms.cm .....	1065		

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Titre hydrotimétrique total en degrés français ...	52°6		
Titre alcalimétrique en mg CaO/litre .....	166,9	après marbre	160,5
Titre alcalimétrique complet en degrés .....	29°8	après marbre	28°6
Oxygène cédé par MnO <sub>4</sub> K en milieu alcalin à chaud 10 minutes, en mg O <sub>2</sub> /litre .....			
Chlorures en mg Cl/litre (norme 200) ..	287,9		
Sulfates en mg SO <sub>4</sub> /litre (Norme 250) ..	5,0		
Nitrites en mg NO <sub>2</sub> /litre (Norme 0,10)..	0,01		
Nitrates en mg NO <sub>3</sub> /litre (Norme 50) ...	38,1		
Ammonium en mg NH <sub>4</sub> /litre (Norme 0,50)..	0,05		
Fer en mg Fe/litre (Norme 0,20)..	0,02		





## 7. CONCLUSIONS

L'interprétation des différents pompages d'essai ainsi que les simulations hydrodynamique et hydrothermique confirment du point de vue hydrogéologique la possibilité d'utiliser une pompe à chaleur pour le chauffage des H.L.M. de la Cité Briolles de Bray sur Seine. Le débit maximal à ne pas dépasser est fixé à 52 m<sup>3</sup>/h.

En fonction de la coupe technique des ouvrages, de la position des niveaux productifs, il est souhaitable de placer la pompe dans le puits d'exhaure à une profondeur voisine de 27 m. Cette position, légèrement inférieure à la zone la plus productrice, est suffisamment élevée par rapport au fond de l'ouvrage pour permettre un léger dépôt éventuel.

De même, il serait bon de doter le système de pompage d'une électrode d'arrêt à une profondeur de 20 m par rapport au sol afin d'éviter lors d'un pompage excessif (normalement improbable) un dénoiement de la partie la plus productrice de l'aquifère, éventualité qui entraînerait un rabattement trop important avec des risques pour la pompe.

La canalisation de rejet sera descendue au moins à 10 m sous le sol dans l'ouvrage de réinjection.

Les 2 ouvrages seront protégés par des capots étanches. Dans le même souci de protection de la qualité de la nappe, utilisée par ailleurs pour l'Alimentation en Eau Potable, il importe qu'il y ait un échangeur étanche au niveau de la pompe à chaleur et éviter ainsi tout risque lié à une fuite de Fréon.

Soulignons par ailleurs qu'il a été nécessaire d'effectuer 4 acidifications dans le puits d'exhaure et une dans le puits de réinjection pour parfaire le développement de ces ouvrages.

Enfin notons que, compte tenu de la faible alimentation de la nappe de la craie à l'aplomb du site, la réalisation d'un ouvrage de réinjection était obligatoire si l'on désirait assurer une pérennité de la ressource. Sans forage de rejet, le puits d'exhaure n'aurait pas pu à long terme être exploité à plus d'une vingtaine de m<sup>3</sup>/h. La forte pente de la nappe évite un recyclage des eaux froides réinjectées en direction du puits d'exhaure. A priori, même après plusieurs années d'exploitation, la température de l'eau prélevée devrait rester voisine de 12 °C.

A N N E X E S

REALISATION DE L'OUVRAGE D'EXHAURE et DEVELOPPEMENT- Calendrier.

- 21.2.83 Mise en place de la machine.
- 22.2.83 Forage jusqu'à 10 m 50 à la benne preneuse (diamètre 600 mm). Visite de chantier.
- 23.2.83 Forage jusqu'à 13 m à la benne preneuse (diamètre 600 mm). Foration jusqu'à 22 m au trépan (diamètre 390 mm). Le niveau statique se situe à 12,20 m sous le sol.
- 24.2.83 Forage jusqu'à 30 m 40 au trépan (diamètre 390 mm). Nettoyage de forage.
- 25.2.83 Mise en place de la crépine.  
12 m de tube plein. 18 m de crépine à 11,7 % de vide.  
Visite de chantier.
- 28.2.83 Mise en place du massif de gravier.
- 
- 1.3.83 Pompage par à-coups au débit maximum pour nettoyage (Débit d'épuisement environ 20 m<sup>3</sup>/h avec rabattement de 16 m en moins de 3 mn).
- 2.3.83 Poursuite du nettoyage. Mise en place de 3 limnigraphes sur des ouvrages à proximité du forage.
- 3.3.83 1ère acidification : 1 tonne d'acide injectée par passe de 2 m depuis le fond jusqu'à 17 m sous courant d'eau (environ 3 m<sup>3</sup>/h), pompage de nettoyage (débit d'épuisement aux environs de 26 m<sup>3</sup>/h avec rabattement de 16 m en moins de 10 mn). Réunion sur le chantier pour suite à donner.
- 4.3.83 Pompage par à-coups pour nettoyage puis pompage en continu au débit de 25 m<sup>3</sup>/h pendant 4 h.
- 7.3.83 Nettoyage à la soupape.  
2ème acidification : 2 tonnes d'acide injectées selon la même technique que pour la 1ère. Pompage de nettoyage (débit d'épuisement aux environs de 30 m<sup>3</sup>/h). Pompage de 3 h à 27 m<sup>3</sup>/h environ ; rabattement de 12 m 14.

- 8.3.83 Pompage de 5 h à 25 m<sup>3</sup>/h environ ; rabattement de 12 m 35, interprétation hasardeuse car la fluctuation des débits est due à des colmatages de la pompe. Remontée suivie pendant 2 h 30, niveau final à 60 cm du niveau statique. Réunion sur le chantier pour suite à donner.
- 9.3.83 Pompage d'essai à 25 m<sup>3</sup>/h pendant 5 h.
- 11.3.83 3ème acidification : 5 tonnes d'acide injectées par passe de 2 m sous charge d'eau (25 m<sup>3</sup>/h). Pompage d'épuisement à 75 m<sup>3</sup>/h pendant 6 mn 30. Pompage de nettoyage de 3 h au débit de 57 m<sup>3</sup>/h pour un rabattement de 12 m 70.
- 14.3.83 Pompage de 4 h au débit moyen de 58 m<sup>3</sup>/h avec rabattement final non stabilisé de 14 m 77.
- 15.3.83 Pompage de 4 h au débit moyen de 27 m<sup>3</sup>/h avec rabattement final non stabilisé de 3 m 10.
- 16.3.83 Pompage de 4 h au débit moyen de 41 m<sup>3</sup>/h avec rabattement final non stabilisé de 5 m 25.
- 18.3.83 4ème acidification : 5 tonnes d'acide selon la même méthode que lors de la 3ème acidification. Pompage 3 h puis arrêt court-circuit.
- 22.3.83 Pompage d'essai à 57 m<sup>3</sup>/h pendant 5 h.
- 23.3.83 Début pompage 48 h mais arrêt au bout de
- 24.3.83 24 h (groupe électrogène défectueux).
- 28.3.83 Pompage 48 h.
- 29.3.83 " "
- 30.3.83 Suivi remontée.

REALISATION DE L'OUVRAGE DE REINJECTION et DEVELOPPEMENT- Calendrier.

- 8.4.83 Mise en place de la machine et foration des 5 premiers mètres.
- 11.4.83 Foration jusqu'à 7 m à la benne preneuse (Ø 600 mm)  
 " " 16 m au trépan (Ø 390 mm)  
 Niveau statique à 10,60 m.
- 12.4.83 Foration jusqu'à 27 m.
- 13.4.83 Foration jusqu'à 30 m.
- 14.4.83 Nettoyage jusqu'à 31 m et mise en place de la crépine et gravillonnage. 9 m de tube plein.  
 2 m de crépine à nervures repoussées.  
 20 m de crépine à 11,7 % de vide.
- 15.4.83 Nettoyage par pompage.
- 18.4.83 Nettoyage par pompage à 46 m<sup>3</sup>/h.
- 19.4.83 Nettoyage par pompage à 55 m<sup>3</sup>/h.
- 20.4.83 Essai d'injection et mesure au micromoulinet.
- 21.4.83 Acidification (3 T environ) et pompage de développement à débit maximal de la pompe (52 m<sup>3</sup>/h).
- 22.4.83 Essai de 4 h à 42 m<sup>3</sup>/h, puis à 52 m<sup>3</sup>/h.
- 25.4.83 Essai d'injection et mesure au micromoulinet.  
 Nivellement des ouvrages.  
 Demande de curetage de l'ouvrage.
- 27.4.83 Essai d'injection.
- 
- 2.5.83 Début essai pompage reinjection. arrêt au bout de quelques heures : impossibilité de connaître le débit.
- 3.5.83 " " " " " "
- 4.5.83 Essai de pompage 48 h et suivi des niveaux.
- 5.5.83 " " " " " " " "

PUITS D'EXHAURE

Fig. A.2.1	Pompage du 9.3.83	Q = 25 m <sup>3</sup> /h	
Fig. A.2.2	Pompage du 14.3.83	Q = 58 m <sup>3</sup> /h	
Fig. A.2.3	Pompage du 15.3.83	Q = 27 m <sup>3</sup> /h	<u>Pompage d'essai</u> <u>de 4 h</u>
Fig. A.2.4	Pompage du 16.3.83	Q = 40 m <sup>3</sup> /h	
Fig. A.2.5	Pompage du 22.3.83	Q = 57 m <sup>3</sup> /h	
Fig. A.2.6-a-b-c	Pompage du 28.3.83 Interprétation de l'essai.	Q = 56 m <sup>3</sup> /h	<u>Pompage de 48 h</u>

PUITS DE REINJECTION

Fig. A.2.7-a	Pompages du 22.4.83	Q = 42 m <sup>3</sup> /h	
-b	" "	Q = 52 m <sup>3</sup> /h	
Fig. A.2.8-a-b-c-d-e	Essai de pompage réinjection du 3.5.83 Interprétation de l'essai	Q = 52 m <sup>3</sup> /h	<u>Pompage de 48 h</u>

TESTS AU MICROMOULINET

Fig. A.2.9-a	Puits d'exhaure
-b	Puits d'injection

TABLEAU 1 POMPAGE DU 9.3.83.

-----

$t$ (s)	Rabattement (m)	$Q$ (m <sup>3</sup> /h)
0	0	18.77
60	1.03	
120	1.62	
180	2.08	
240	2.40	
300	2.60	18.77
420	2.68	
540	2.85	
660	3.38	22.64
780	3.91	
900	4.02	
1200	4.43	25.94
1500	4.55	25.31
1800	4.59	
3000	4.82	24.68
3600	4.80	25.31
4500	5.41	24.68
5400	5.45	26.55
6300	5.48	25.94
7200	5.51	
8100	5.64	
9000	5.79	
9900	5.77	
10800	5.77	
11700	5.86	
12600	5.83	25.31
13500	5.80	
14400	5.80	24.68
15300	5.85	
16200	5.88	25.31
17100	5.86	
18000	5.87	



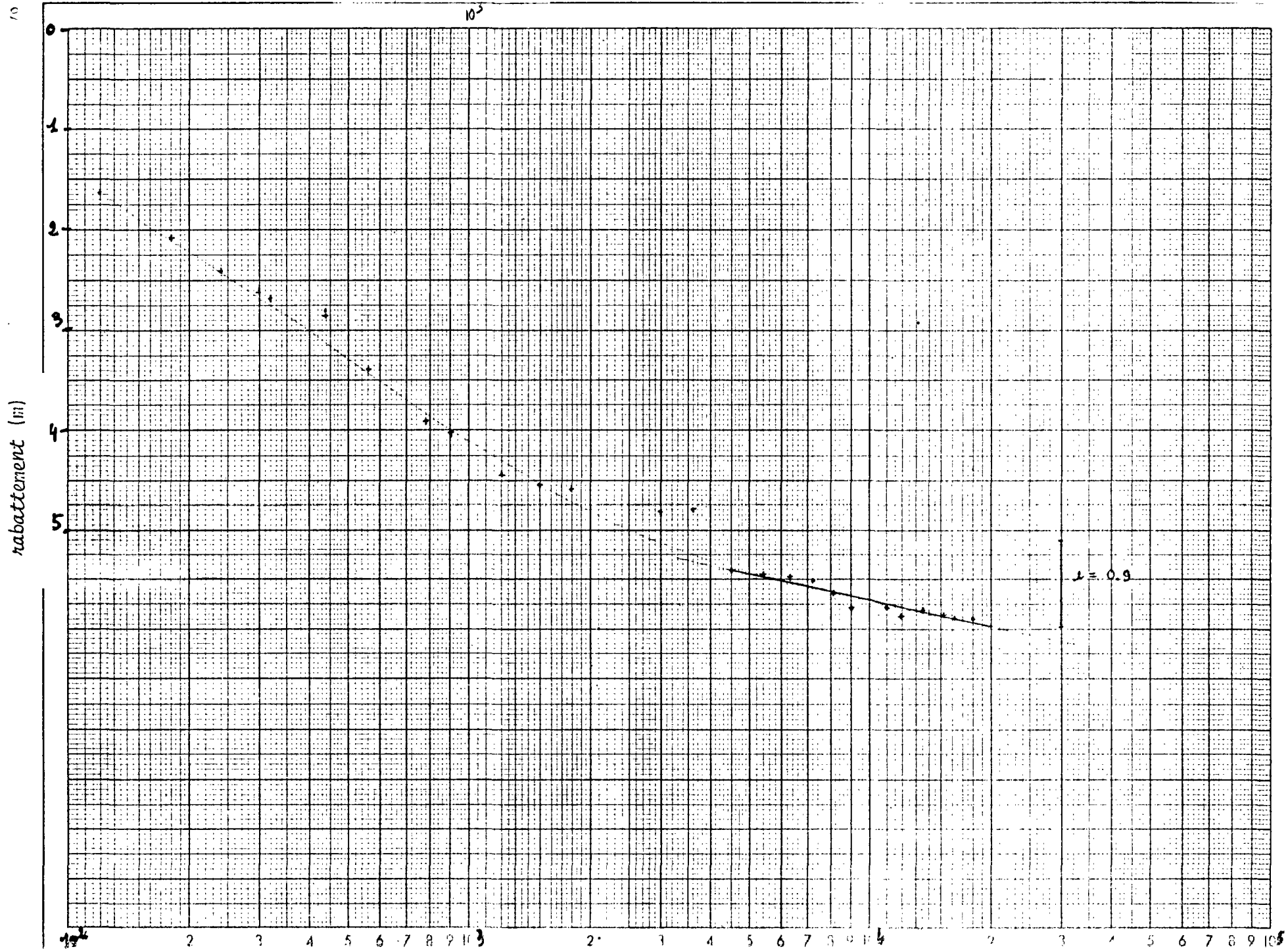


TABLEAU 2 POMPAGE DU 14.3.83

-----

$t$ (s)	Rabattement (m)	$Q$ (m <sup>3</sup> /h)
0	0	59
60		
120		
180		
240		
300		
420		
540		
660		
780		
900	6.26	58
1200		
1500		
1800	6.56	58
2700	7.05	
3600	7.42	
4500	7.90	
5400	8.21	
6300	8.89	
7200	8.85	
8100	9.22	57
9000	9.86	58
9900	10.45	
10800	10.86	
11700	12.32	
12600	12.53	
13500	13.97	
14400	14.77	

Fig. A.2.2 POMPAGE DU 14.3.83

Q. = 58 m<sup>3</sup>/h.

TEMPS (secondes)

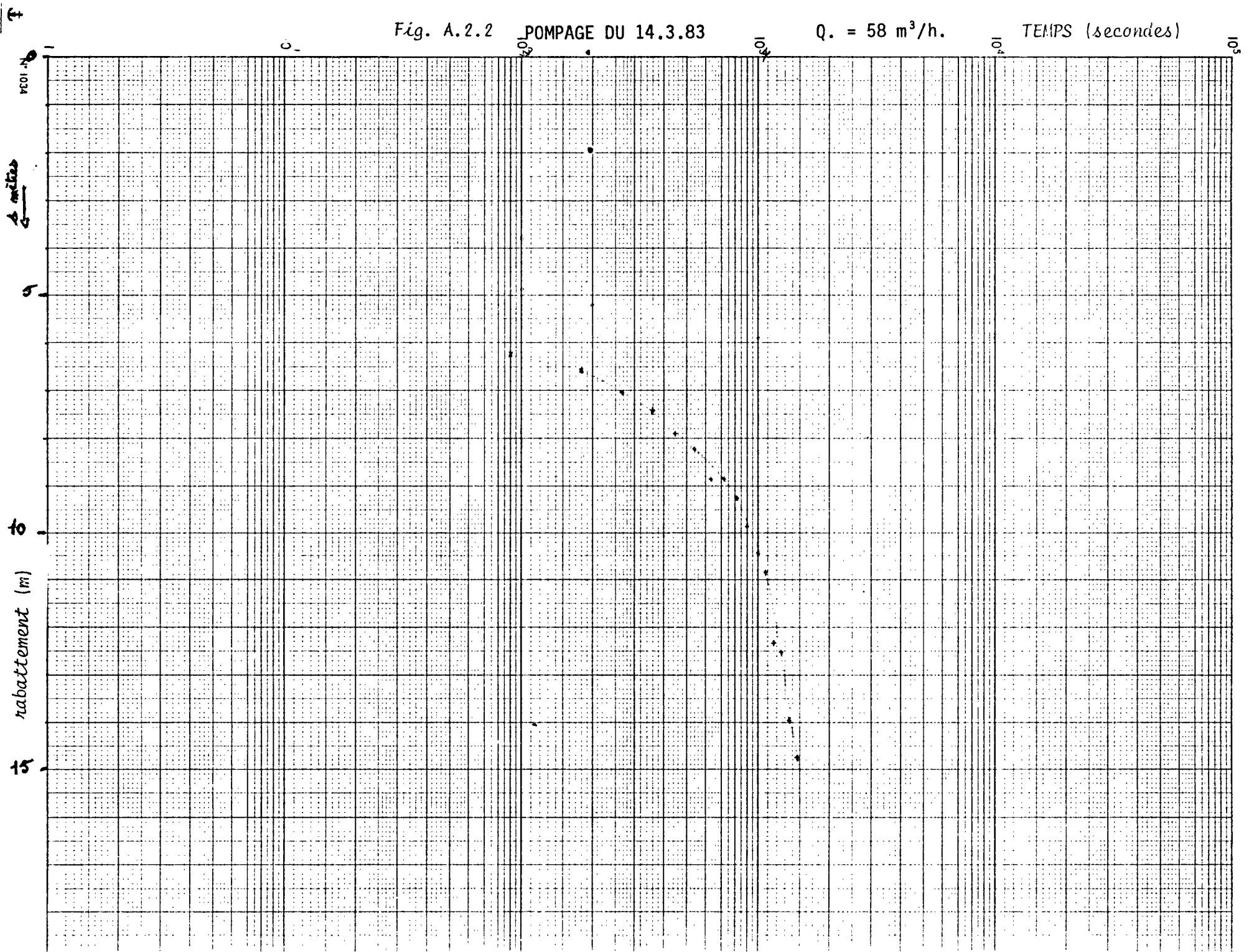


TABLEAU 3 POMPAGE DU 15.3.83

-----

$t$ (s)	Rabattement (m)	$Q$ (m <sup>3</sup> /h)
0	0	27
60	1.02	
120	1.44	
180	1.73	
240	1.91	
300	2.01	
420	2.13	
540	2.19	
660	2.26	
780	2.29	
900	2.32	
1200	2.40	
1500	2.45	
1800	2.48	
2700	2.56	
3600	2.64	
4500	2.69	
5400	2.72	
6300	2.74	
7200	2.81	
8100	2.85	
9000	2.89	
9900	2.91	
10800	2.93	
11700	2.95	
12600	2.98	
13500	3.00	
14400	3.10	

Fig. A.2.3 - POMPAGE DU 15.3.83

Q. = 27 m<sup>3</sup>/h.

TEMPS (secondes)

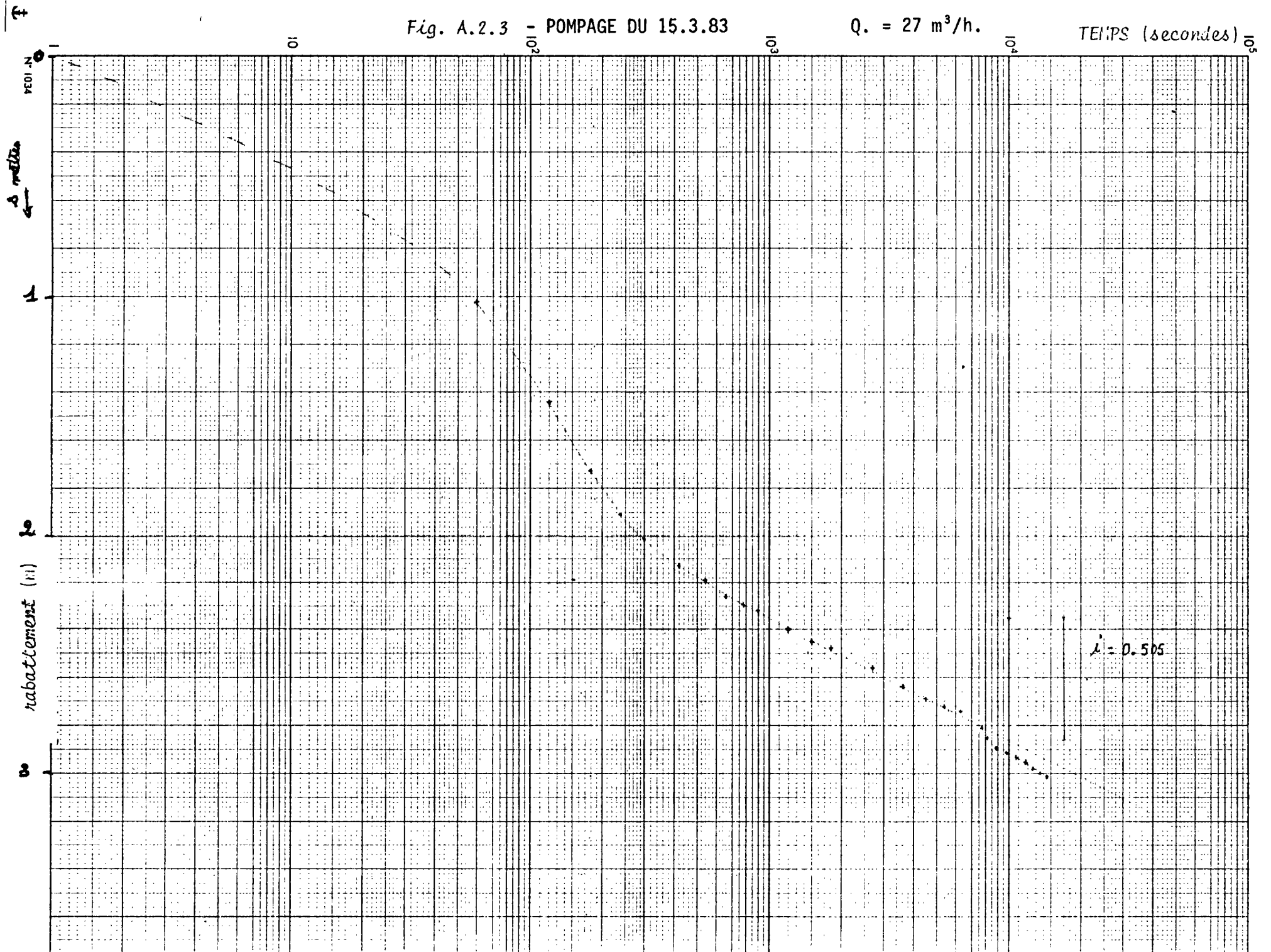


TABLEAU 4 POMPAGE DU 16.3.83

-----

$t$ (s)	Rabattement (m)	$Q$ (m <sup>3</sup> /h)
0	0	41
60	1.40	
120		
180		
240		
300	3.21	
420		
540		
660	3.58	
780		
900	3.76	
1200		
1500		
1800	4.13	
2700	4.26	
3600	4.35	
4500	4.47	
5400	4.55	
6300	4.60	
7200	4.65	
8100	4.69	
9000	4.74	
9900	4.80	41
10800	5.26	43
11700	5.23	42
12600	5.24	42
13500	5.25	42
14400	5.26	42

7

Fig.A.2.4 POMPAGE DU 16.3.83

Q. = 40 m<sup>3</sup>/h.

TEMPS (secondes)

N° 1034

u

rabatement (m)

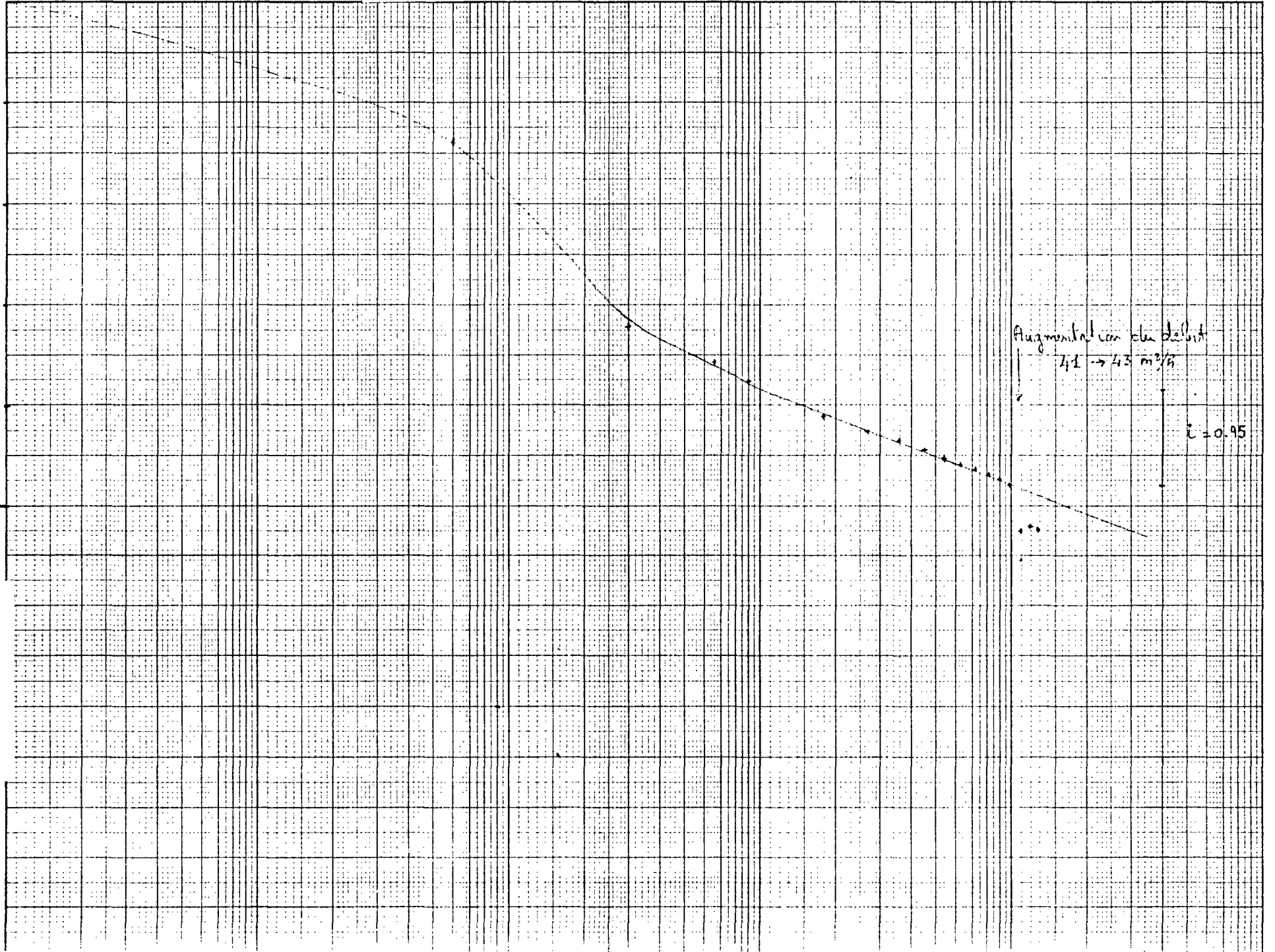
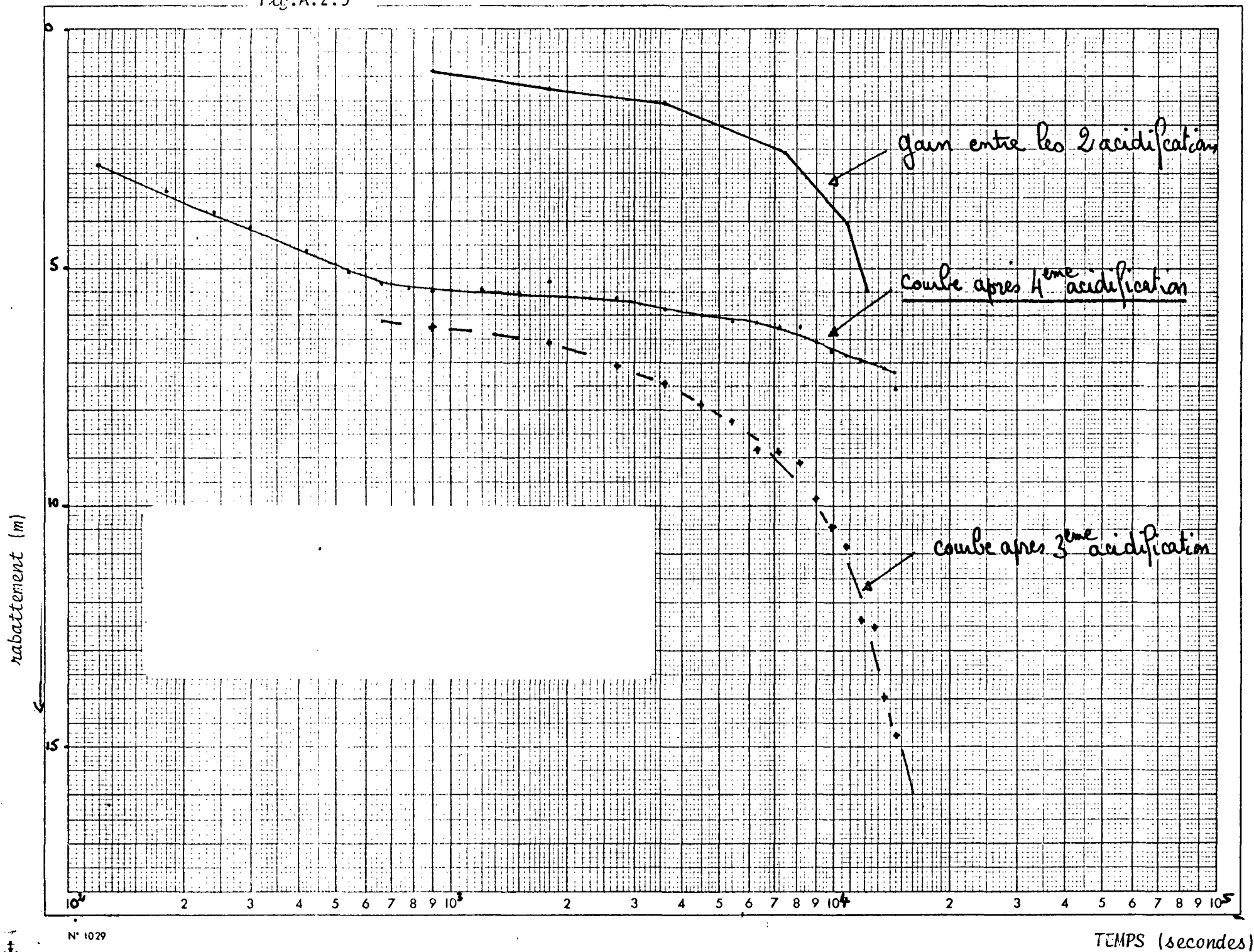


TABLEAU 5 POMPAGE DU 22.3.82

Temps de pompage (secondes)	Rabattement ap. 3° acidification (m)	Rabattement ap. 4° acidification (m)	Gain après la 4° acidification (m)
0	0	0	
60		1,46	
120		2,81	
180		3,37	
240		3,80	
300		4,12	
420		4,63	
540		5,08	
660		5,32	
780		5,42	
900	6,26	5,47	0,79
1 200		5,48	
1 500		5,52	
1 800	6,56	5,29	1,27 ← diminution débit
2 700	7,05	5,65	1,40
1 h 3 600	7,42	5,89	1,53
4 500	7,90	6,00	1,90
5 400	8,21	6,13	2,08
6 300	8,89	6,12	2,77
2 h 7 200	8,85	6,27	2,58 ← panne de 3 mn de la pompe
8 100	9,22	6,26	2,96
9 000	9,86	6,59	3,27
9 900	10,45	6,76	3,69
3 h 10 800	10,86	6,82	4,04
11 700	12,32	6,95	5,37
12 600	12,53	7,02	5,51
13 500	13,97	7,11	6,86
4 h 14 400	14,77	7,20	7,57



Fig. A.2.5



## INTERPRETATION DE L'ESSAI DE POMPAGE DE 48 HEURES

### - RELATION NIVEAU - TEMPS (Descente)

Les résultats sont présentés dans le tableau 6 et sur les figures A.2.6-a et -b.

L'interprétation de ces courbes selon les méthodes de Jacob (fig.a) ou de Theis (fig.b) conduit à des valeurs de transmissivité comprises entre  $10^{-3}$  et  $3.10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

Cette diminution d'un facteur 0,3 de la transmissivité, peut s'expliquer par une baisse du niveau de l'eau, qui entraîne une diminution de l'épaisseur de l'aquifère au voisinage de l'ouvrage.

Au vu de la figure (a) on peut distinguer deux niveaux :

- le premier jusqu'à un rabattement de 9,5 m (soit 22 m sous le niveau du sol) et pour lequel la transmissivité est de l'ordre de  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s,
- le second qui débute à cette profondeur et pour lequel la transmissivité varie actuellement pour prendre une valeur de  $3.10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s pour des rabattements compris entre 12 et 13 m soit (24,5 et 25,5 m sous le niveau du sol).

A partir de ces valeurs et en supposant la perméabilité de la craie uniforme sur la hauteur considérée (moins de 25 m) on peut calculer cette perméabilité et estimer la hauteur de craie fissurée. On obtient une perméabilité (K) de  $2.10^{-4}$  m/s pour une hauteur totale de 22 m de craie environ. Compte tenu de ces chiffres on peut estimer différentes transmissivités pour différents rabattements (ces valeurs pouvant servir pour des simulations d'exploitation en cas de basses eaux).

TABLEAU 6 POMPAGE DU 28.3.83

Heure	Temps (s)	Rabatement	Q m <sup>3</sup> /h	Température
28.3.83	8 h 10	1,52		
	11	60	1,52	
	12	120	2,73	
	13	180	3,32	
	14	240	3,64	
	15	300	3,79	
	17	420	3,92	
	19	540	4,20	
	21	660	4,37	
	23	780	4,48	
	25	900	4,55	54,89
	30	1 200	4,72	12°50
	35	1 500	4,86	
	40	1 800	4,96	
	50	2 400	5,26	56,89
	9 h 00	3 000	5,55	12°48
	20	4 200	5,87	
	40	5 400	6,12	
	10 h 00	6 600	6,32	
	11 h 10	10 800	6,88	
	12 h 10	14 400	7,23	
	12 h 30	15 600	7,38	
	13 h 10	18 000	7,60	
	13 h 30	19 200	7,59	56,23
	14 h 10	21 600	7,38	12°49
	14 h 30	22 800	7,76	57,17
	15 h 00	24 600	7,73	12°53
	15 h 30	26 400	7,86	
	16 h 00	28 200	8,03	
	16 h 30	30 000	8,22	
	17 h 00	31 800	8,08	55,76
	17 h 30	33 600	8,32	12°57
	18 h 00	35 400	8,37	

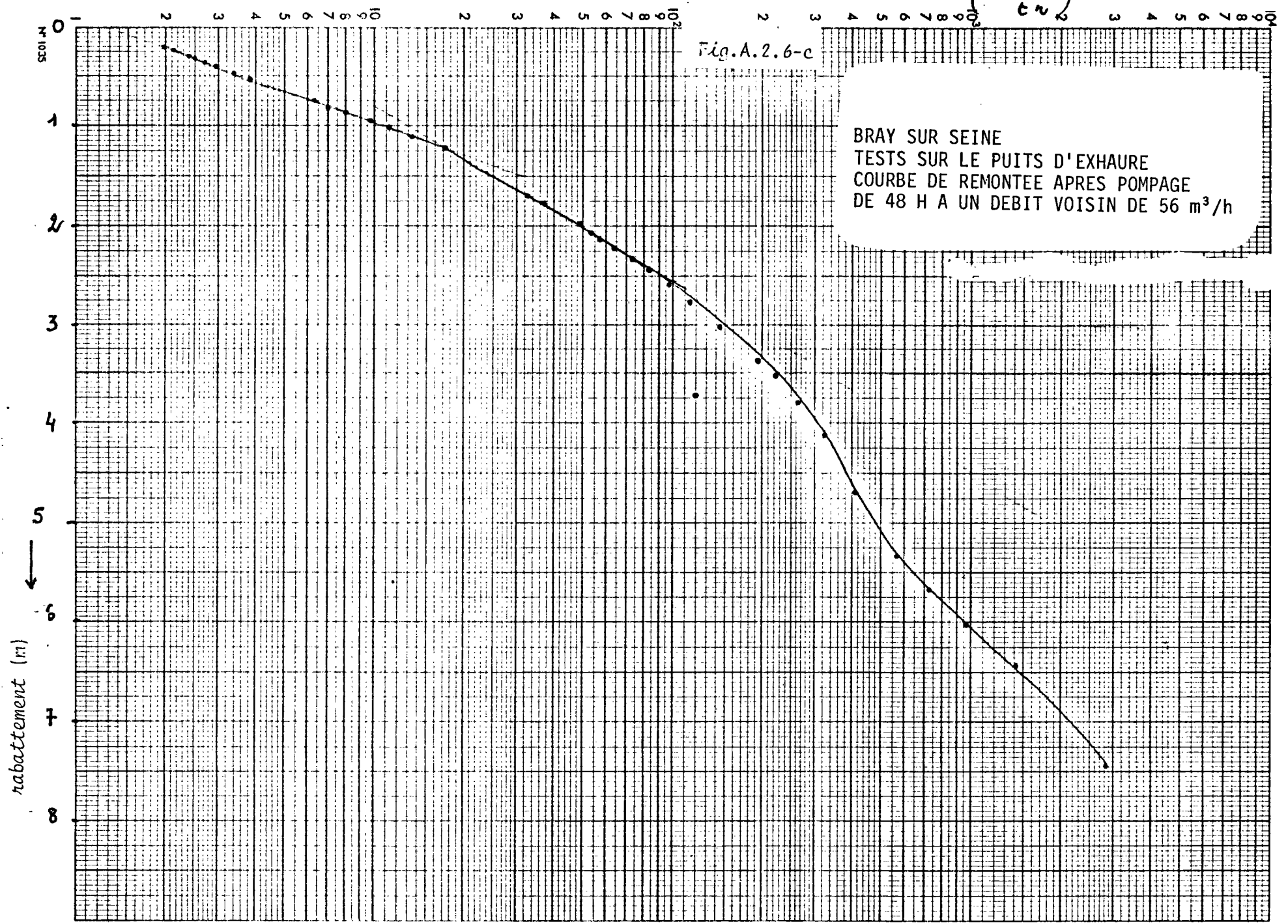
Heure	Temps (s)	Rabattement	Q m <sup>3</sup> /h	Température
	18 h 00	35 400	8,37	
	18 h 30	37 200	8,51	
	19 h 00	39 000	8,86	
	19 h 30	40 800	8,94	
	20 h 00	42 600	9,00	56,33 12°60
	20 h 30	44 400	9,01	
	21 h 00	46 200	9,09	
	22 h 00	49 800	9,22	
	23 h 00	53 400	9,33	
	24 h 00	57 000	9,39	
29.3.83	2 h 00	64 200	9,32	56,47 12°64
	4 h 00	71 400	9,69	
	6 h 00	78 600	10,32	
	8 h 00	85 800	11,09	
	9 h 00	89 400	11,30	
	10 h 00	93 000	12,40	
	11 h 00	96 600	12,18	56,41 12°67
	12 h 00	100 200	12,39	
	13 h 00	103 800	12,17	
	14 h 00	107 400	12,06	
	15 h 00	111 000	11,98	
	16 h 00	114 600	12,10	
	17 h 00	118 200	12,07	
	18 h 00	121 800	12,05	
	19 h 00	125 400	12,01	55,18 12°65
	20 h 00	129 000	12,11	
	22 h 00	136 200	12,29	
	24 h 00	143 400	12,32	
30.3.83	2 h 00	150 600	12,56	56,41
	3 h 00	154 200	12,61	
	4 h 00	157 800	12,77	
	6 h 00	165 000	12,84	
	8 h 00	172 800	12,96	55,18

<u>Rabattement</u>	<u>Transmissivité (m<sup>2</sup>/s)</u>
jusqu'à 9,5 m	10 <sup>-3</sup>
11	5,310 <sup>-4</sup>
12	3 10 <sup>-4</sup>
13	7 10 <sup>-5</sup>

- RELATION RABATTEMENT -  $(1 + \frac{tp}{tr})$  (Remontée)  
 -----

L'interprétation des courbes de remontée se fait à partir d'une représentation du rabattement en fonction du logarithme de  $(1 + \frac{tp}{tr})$  ou  $tp$  est le temps de pompage (48 h) et  $tr$  le temps à partir du début de la remontée. (fig.c).

La remontée confirme les résultats obtenus lors de la descente ; c'est à dire une diminution de la transmissivité en relation avec une diminution de l'épaisseur de la zone saturée de l'aquifère.



22.4. 83

PUITS D'INJECTION

Q = 52 m<sup>3</sup>/h

Fig.A.2.7-b

N 5119

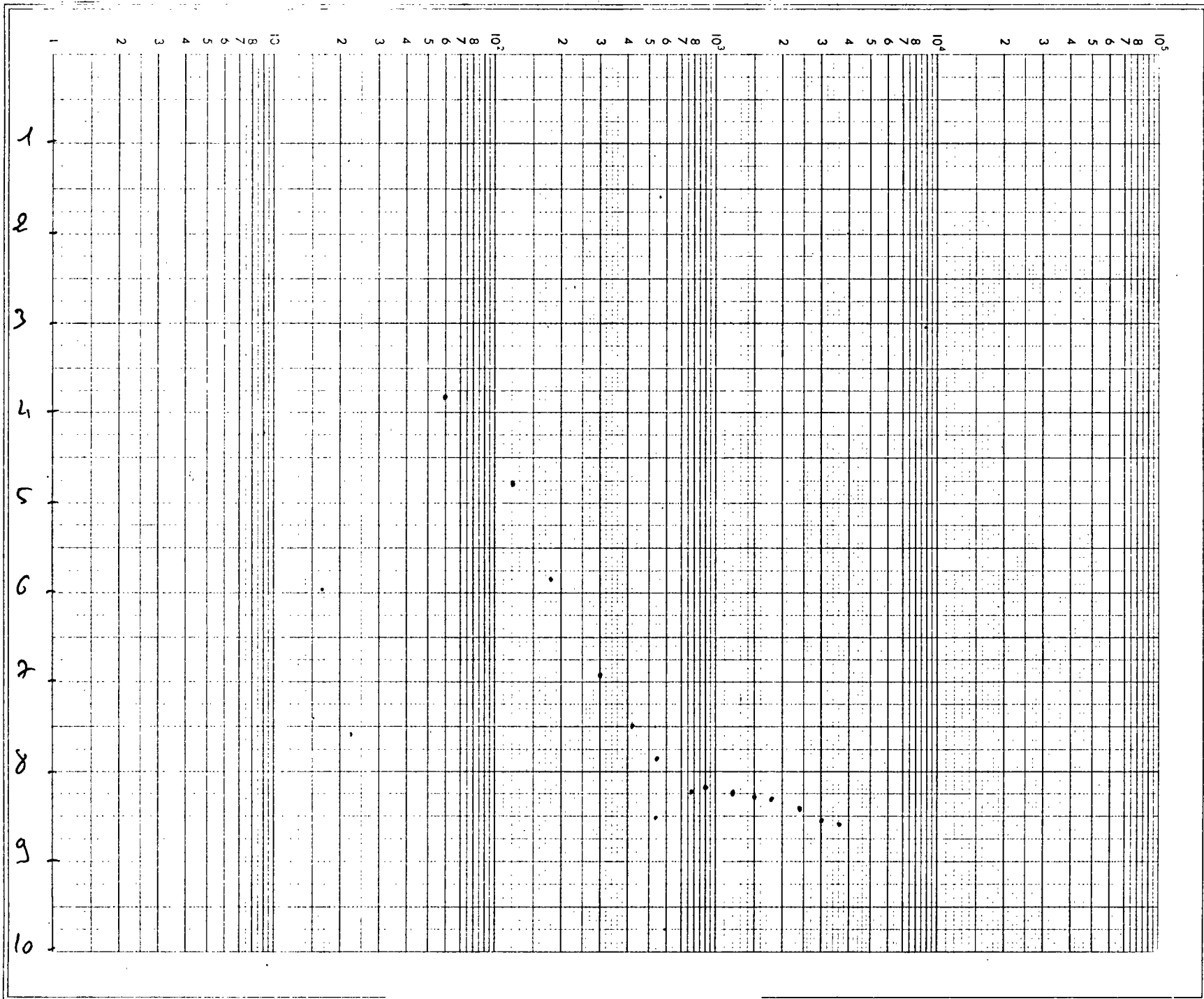


Fig.A.2.7-a

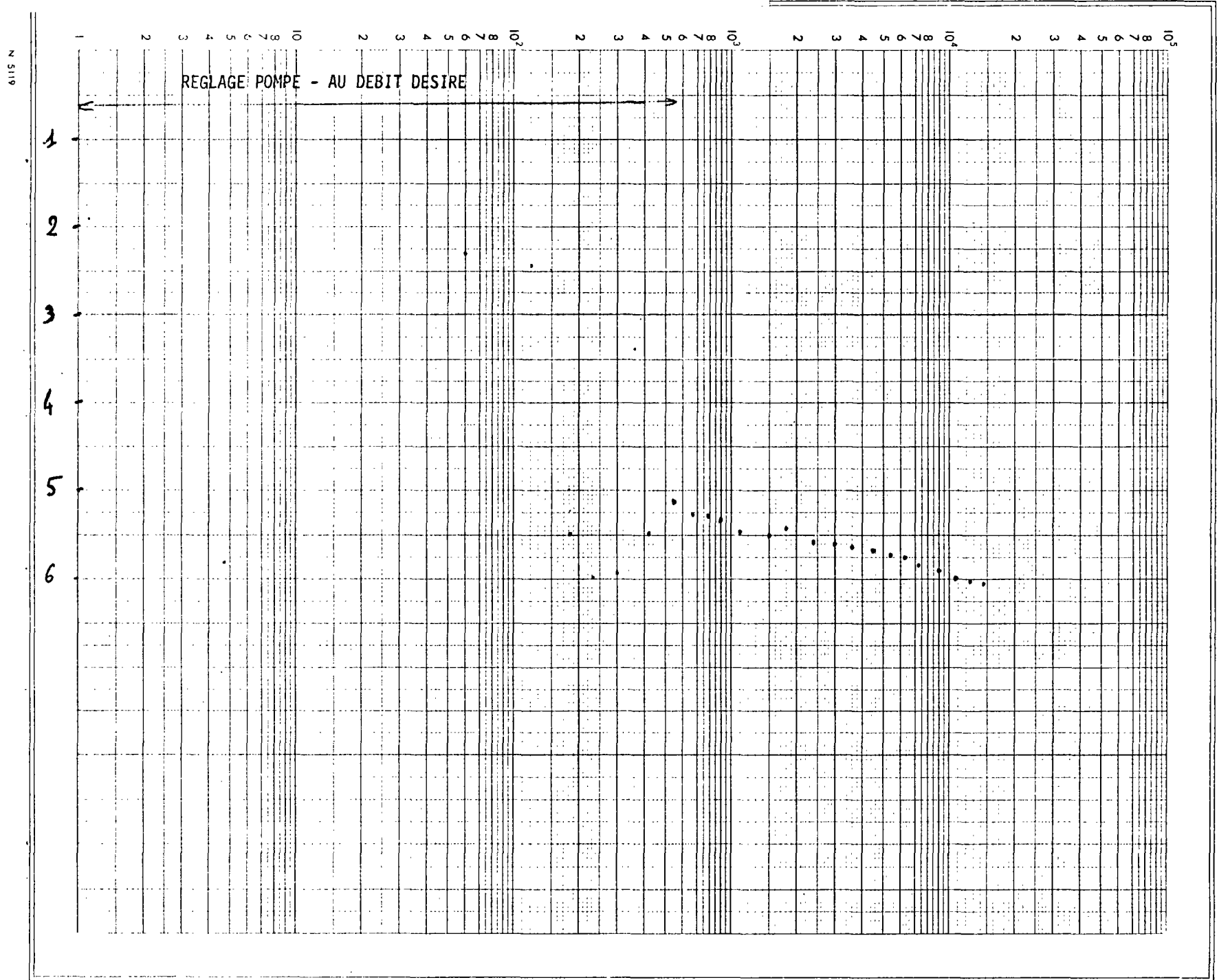




TABLEAU 8-a ESSAI du 3 mai 1983 - PUIIS D'EXHAURE

Heure	secondes	Rabattement	Q m <sup>3</sup> /h	Température
	120	2,51	52 m <sup>3</sup> /h	
	240	3,40		
	360	3,72		
	480	3,85		
	600	3,95		
	900	4,17		
1	200	4,5		
1	500	4,5		
1	800	4,55		
2	400	4,60		
3	000	4,75	"	
3	600	4,87		
5	400	5,09		
7	200	5,28		
10	800	5,39		
14	400	5,58		
18	000	5,81		12,5 °
21	600	5,95		Température relevée
25	200	6,06		à - 20 m dans le puits
28	800	6,16		de pompage
32	400	6,23	"	
36	000	6,28		
39	600	6,31		
43	200	6,38		
46	800	6,47		
50	400	6,51		
54	000	6,53		
57	600	6,56		
61	200	6,6		
64	800	6,63		
68	400	6,66	"	
72	000	6,7		
75	600	6,73		
79	200	6,75		
82	800	6,77		
86	400	6,82		

Heure	Temps (s)	Rabattement	Q m <sup>3</sup> /h	Température
	93 600	6,89	52 m <sup>3</sup> /h	12,5°
	100 800	6,92		
	108 000	6,96		
	115 200	6,99		
	122 400	7,03		
	129 600	7,05		
	136 800	7,08		
	144 000	7,09		
	151 200	7,11		
	158 400	7,13		
	165 600	7,15	"	"
	172 800	7,18		

Fig. A.2.8-a

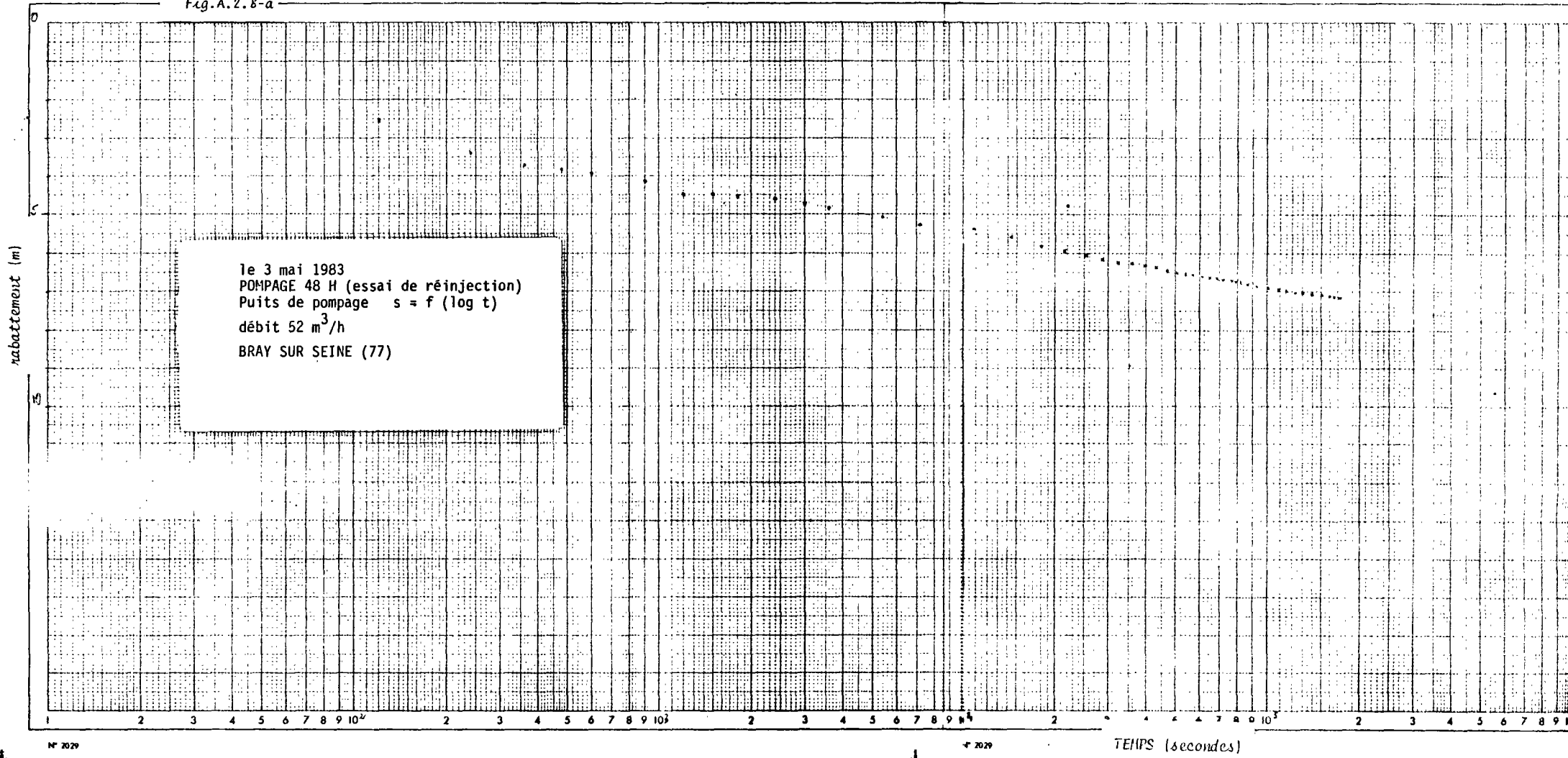
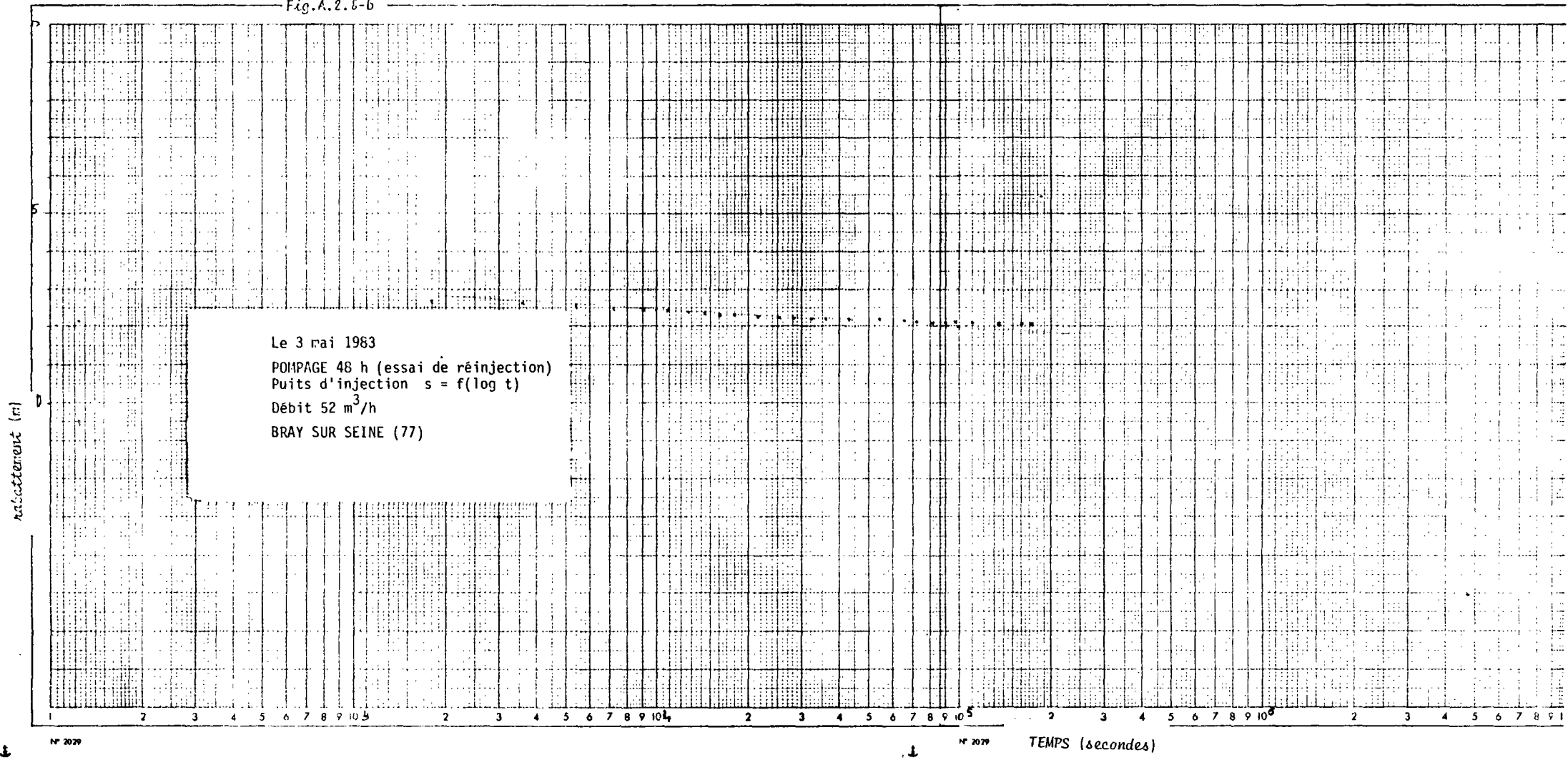


TABLEAU 8-b ESSAI DU 3 mai 1983 - PUIITS DE REINJECTION

Heure	Temps (s)	Rabattement	Q m <sup>3</sup> /h	Température
	1 800	7,32	52 m <sup>3</sup> /h	
	3 600	7,39		
	5 400	7,46		
	7 200	7,52		
	9 000	7,56		
	10 800	7,59		
	12 600	7,62		
	14 400	7,67		
	16 200	7,70		
	18 000	7,72		
	21 600	7,76	"	
	25 200	7,79		
	28 800	7,81		
	32 400	7,82		
	36 000	7,82		
	39 600	7,82		
	43 200	7,82		
	46 800	7,82		
	50 400	7,82		
	54 000	7,83	"	
	57 600	7,85		
	61 200	7,86		
	64 800	7,88		
	68 400	7,89		
	72 000	7,90		
	75 600	7,90		
	79 200	7,90		
	82 800	7,91		
	86 400	7,92		
	90 000	7,92	"	
	93 600	7,92		
	97 200	7,90		
	100 800	7,89		
	104 400	7,88		
	108 000	7,88		

Heure	Temps (s)	Rabattement	Q m <sup>3</sup> /h	Température
	111 600	7,90	52 m <sup>3</sup> /h	
	115 200	7,90		
	118 800	7,89		
	122 400	7,87		
	126 000	7,88		
	129 600	7,88		
	133 200	7,88		
	136 800	7,89		
	140 400	7,90		
	144 000	7,91		
	147 600	7,92		
	151 200	7,93		
	154 800	7,93		
	158 400	7,93		
	162 000	7,93		
	165 600	7,88		
	169 200	7,88		
	172 800	7,94		

Fig. A. 2. E-b



Mise en marche le:

Arrêt le:

Echelle de réduction:

Yours (2) 3/5/80 à 5/5/80 au 1/5/80

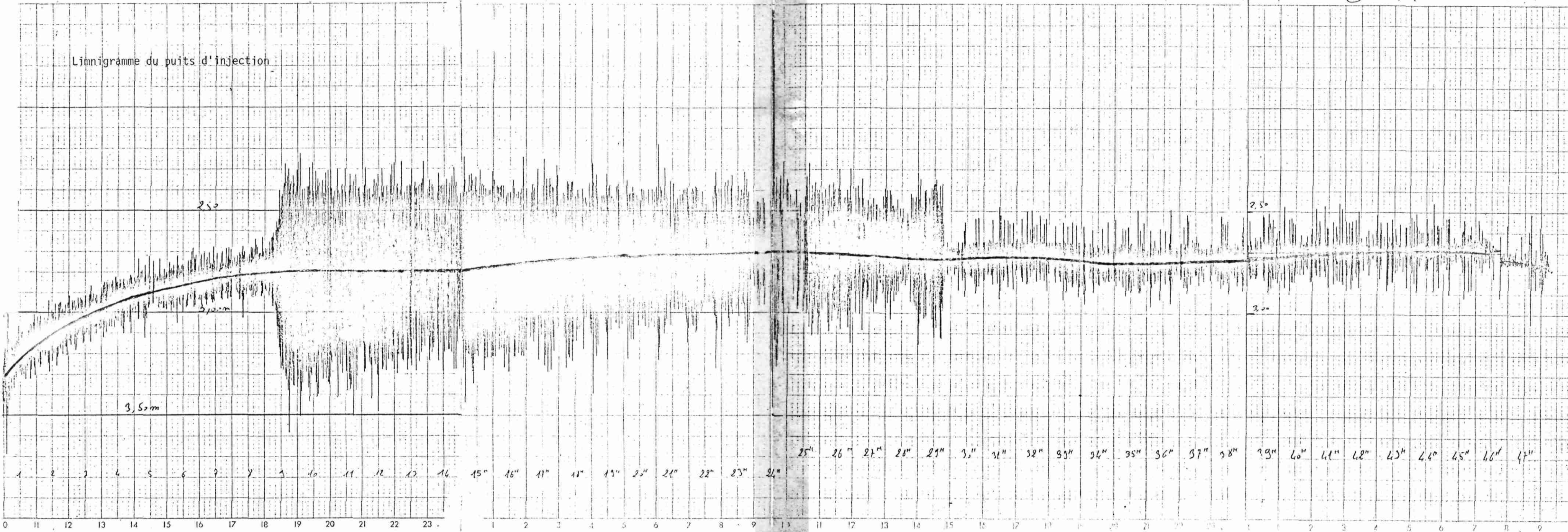
Mise en marche le:

Arrêt le:

Echelle de réduction:

Captage de: Feuille n° (2) du 4/5/80 à 5/5/80 au 5/5/80 à 3'

### Linnigramme du puits d'injection



250

2,10 m

3,50 m

250

3,00

25" 26" 27" 28" 29" 30" 31" 32" 33" 34" 35" 36" 37" 38" 39" 40" 41" 42" 43" 44" 45" 46" 47"

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 . 1 2 3 4 5 6 7 8 9 . 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .

TABLEAU 8-c ESSAI DU 3 mai 1983 - PUIITS DE REINJECTION  
REDESCENTE APRES 48 H DE REINJECTION

temps	$1 + \frac{tP}{tR}$	niveau dyn.	$\beta$
1 <sup>h</sup> 30	33	9,5	1,12
2 <sup>h</sup> 30	20,2	9,63	0,99
3 <sup>h</sup> 30	14,71	9,73	0,89
4 <sup>h</sup> 30	11,67	9,81	0,81
5 <sup>h</sup> 30	9,73	9,87	0,75
6 <sup>h</sup> 30	8,38	9,93	0,69
7 <sup>h</sup> 30	7,4	9,97	0,65
8 <sup>h</sup> 30	6,65	10,01	0,61
9 <sup>h</sup> 30	6,05	10,03	0,59
10 <sup>h</sup> 30	5,57	10,07	0,55
11 <sup>h</sup> 30	5,17	10,10	0,52
12 <sup>h</sup> 30	4,84	10,13	0,49
13 <sup>h</sup> 30	4,56	10,15	0,47
14 <sup>h</sup> 30	4,31	10,17	0,45
15 <sup>h</sup> 30	4,10	10,19	0,43
16 <sup>h</sup> 30	3,91	10,22	0,4
17 <sup>h</sup> 30	3,74	10,24	0,38
18 <sup>h</sup> 30	3,59	10,26	0,36
19 <sup>h</sup> 30	3,46	10,27	0,35
20 <sup>h</sup> 30	3,34	10,29	0,33
21 <sup>h</sup> 30	3,23	10,30	0,32
22 <sup>h</sup> 30	3,13	10,31	0,31
23 <sup>h</sup> 30	3,04	10,32	0,30
24 <sup>h</sup> 30	2,96	10,33	0,29
25 <sup>h</sup> 30	2,88	10,34	0,28
26 <sup>h</sup> 30	2,81	10,36	0,26
27 <sup>h</sup> 30	2,75	10,37	0,25



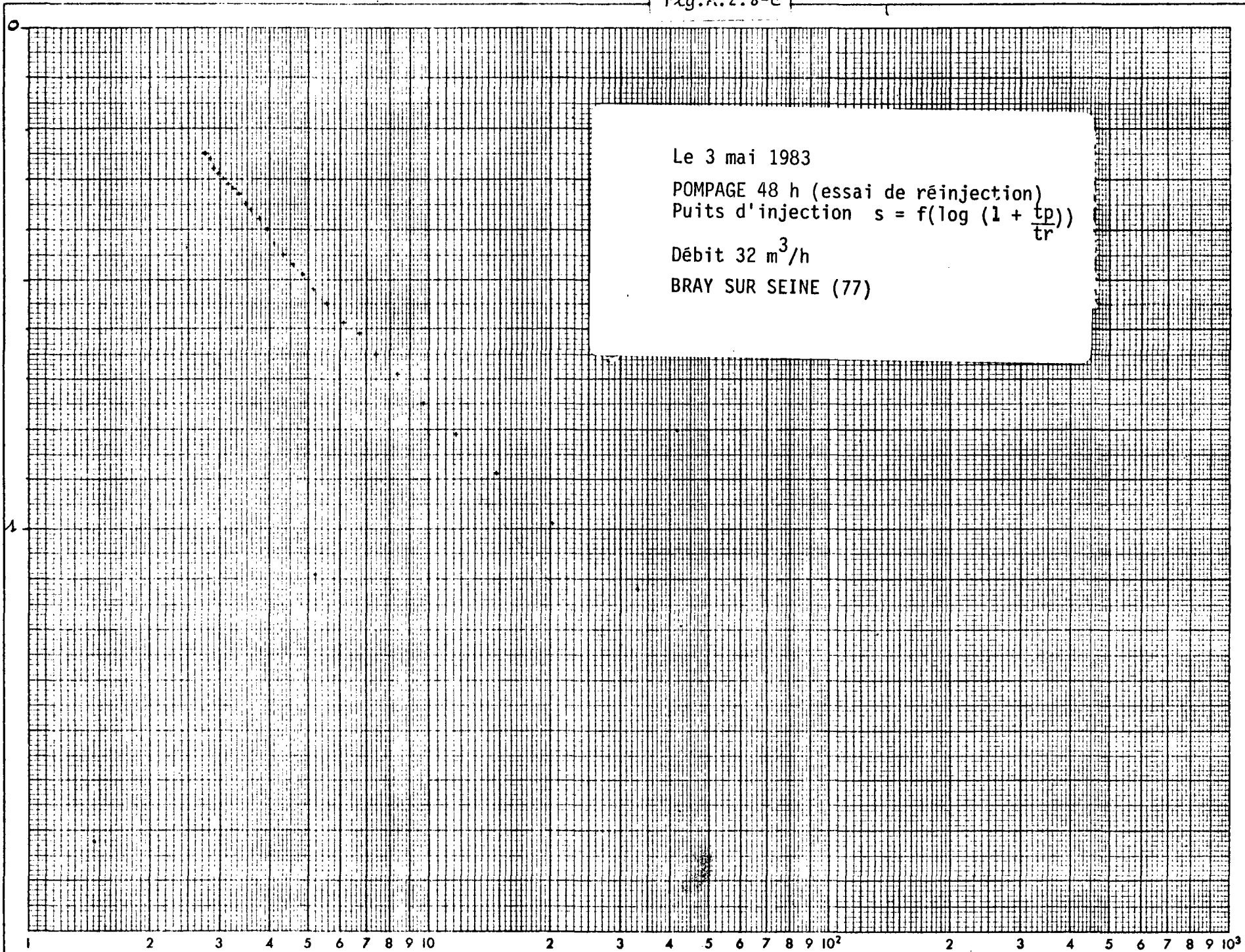
Fig. A.2.8-c

Le 3 mai 1983

POMPAGE 48 h (essai de réinjection)  
Puits d'injection  $s = f(\log(1 + \frac{tp}{tr}))$

Débit  $32 \text{ m}^3/\text{h}$

BRAY SUR SEINE (77)



TABLEAUX 8-d et -e PIEZOMETRES DU CIMETIERE - MONTEE ET REDESCENTE

---

Heure	Temps (s)	Rabattement	Q m <sup>3</sup> /h	Température
-------	-----------	-------------	---------------------	-------------

---

Tab 8-d MONTEE

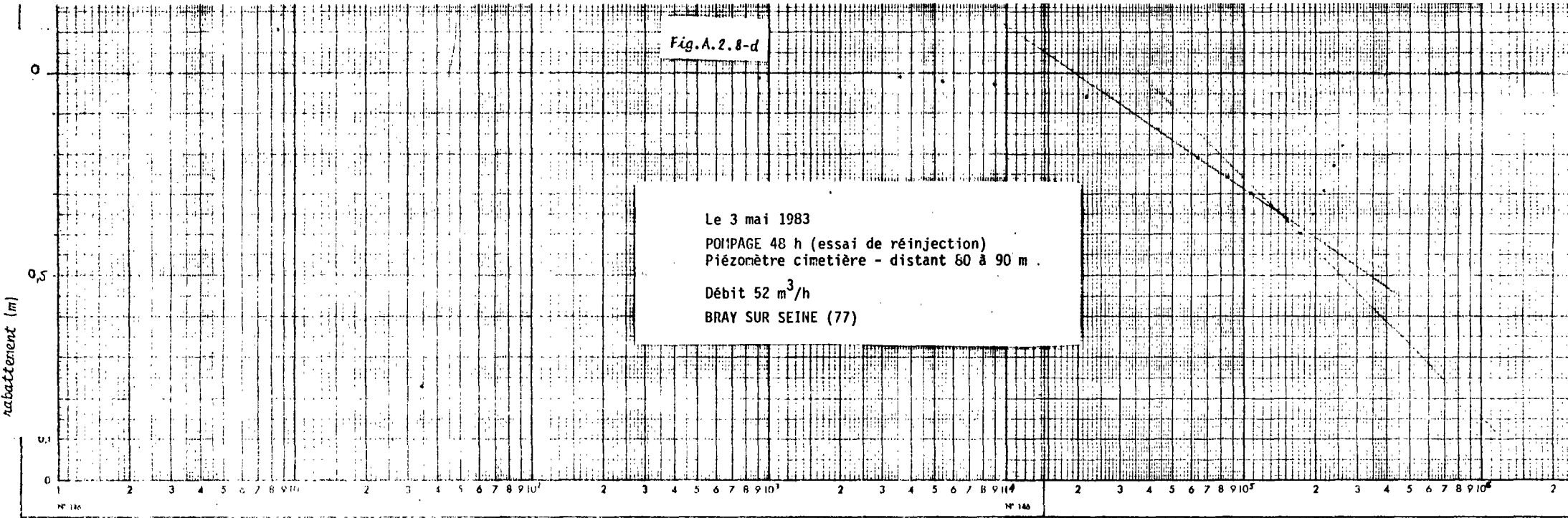
	1 800	0		
	3 600	0,01		
	54400	0,02		
	9 000	0,03		
	21 600	0,06		
	43 200	0,14		
	64 800	0,21		
	86 400	0,26		
	108 000	0,30		
	129 600	0,33		
	151 200	0,37		
	172 800	0,40		

Tab 8-e REDESCENTE

$1 + \frac{tp}{tr}$	
9	0,35
5	0,29
3,5	0,23
3	0,18
2,75	0,17

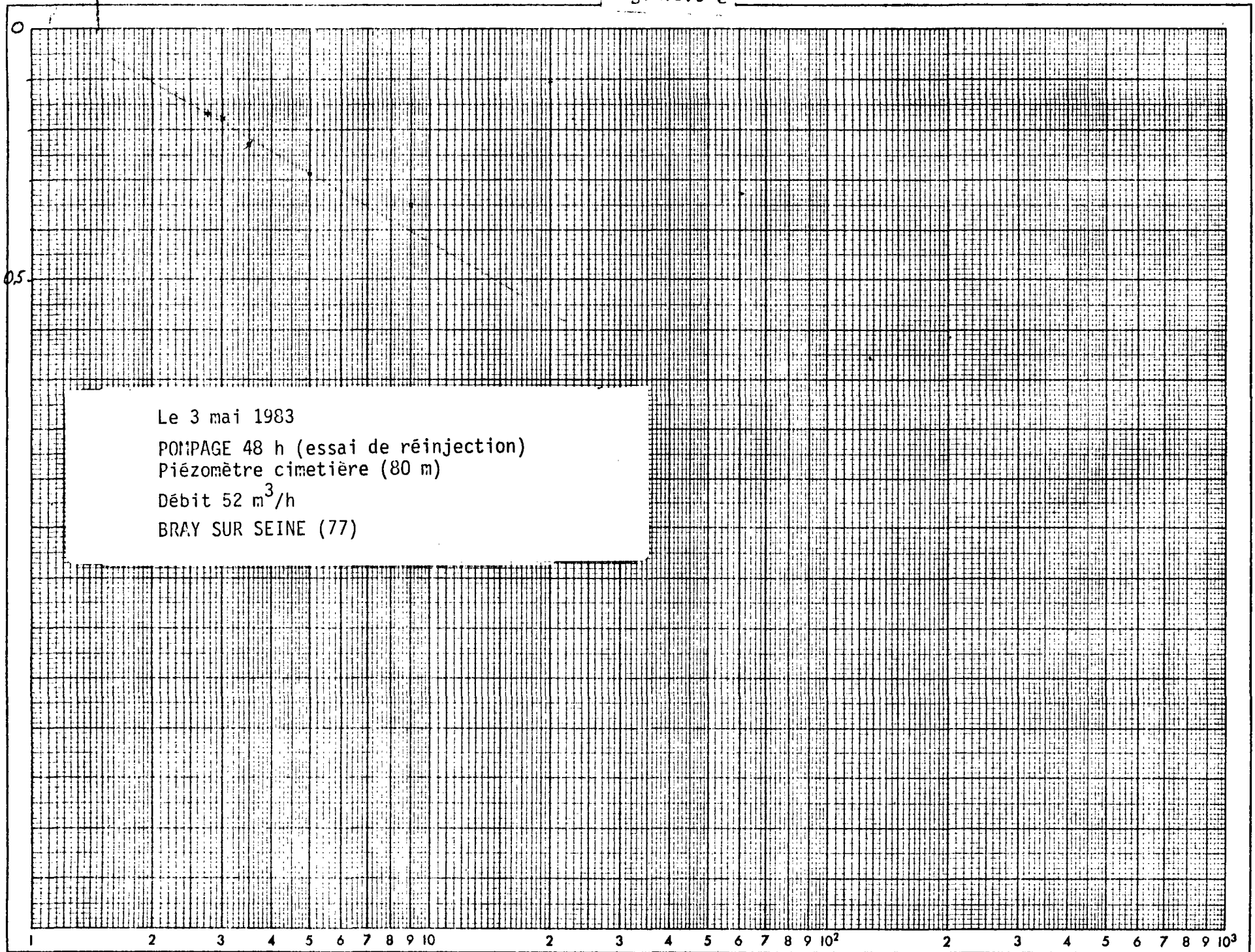
Fig. A.2.8-d

Le 3 mai 1983  
POMPAGE 48 h (essai de réinjection)  
Piézomètre cimetière - distant 80 à 90 m .  
Débit 52 m<sup>3</sup>/h  
BRAY SUR SEINE (77)



TEMPS (secondes)

Fig.A.2.8-e



## INTERPRETATION DU POMPAGE DE 48 h avec réinjection

$$i = \text{pente de la droite} \quad s = f(\log t)$$
$$\text{transmissivité } T = \frac{0.183 Q}{2i} \quad \text{avec } Q \text{ débit.}$$

### PUITS DE POMPAGE

a) Descente

$$i = 0,9 \Rightarrow T = 3.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

b) Remontée

### PUITS D'INJECTION

a) Montée

$$i = 0,5 \Rightarrow T = 5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

b) descente

$$i = 1 \Rightarrow T = 2,5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

### PIEZOMETRE DE CIMETIERE (influencé par la réinjection)

$$\text{Coefficient d'emmagasinement } S = \frac{2,25 T t_0}{r^2}$$

avec  $r$  la distance entre le point de réinjection et le piézomètre

a) Montée

$$i_1 = 0,4 \Rightarrow T = 6,6.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$t_{01} = 1,9.10^{-4} \text{ s} \Rightarrow S = 4 \%$$

$$i_2 = 0,58 \Rightarrow T = 4,5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$t_{02} = 3,6.10^{-4} \Rightarrow S = 5 \%$$

b) Descente

$$i = 0,46 \Rightarrow T = 6.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

L'influence de la réinjection s'est fait ressentir environ 30 mn après le début de l'opération, ce qui ne correspond pas au temps théorique calculé avec une transmissivité de  $3.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et un emmagasinement de 5 %

$$t = 56 \text{ } 066 \quad s = 15 \text{ H } 34 \text{ m } 26 \text{ s}$$

Cette différence s'explique par le fait que l'on ne se trouve pas dans un milieu correspondant au modèle retenu pour les calculs (milieu homogène et isotrope) mais dans un milieu fracturé où les écoulements peuvent se faire selon des directions privilégiées.

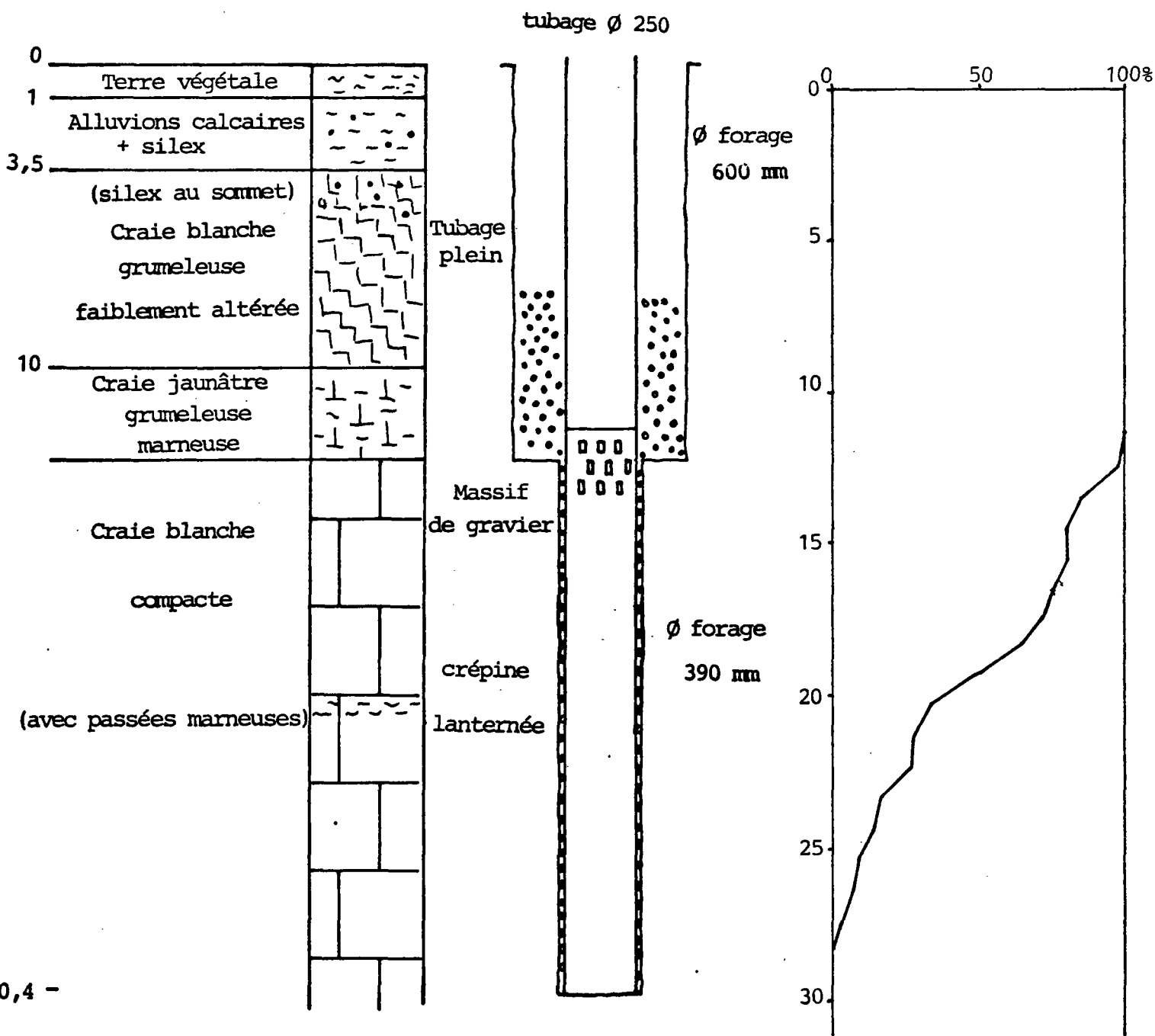
# OUVRAGE D'EXHAURE

Fig. A.2.9-a

## COUPE GÉOLOGIQUE

## COUPE TECHNIQUE

## TEST AU MICROMOULINET



# OUVRAGE D'INJECTION

Fig. A.2.9-b

## COUPE GÉOLOGIQUE

## COUPE TECHNIQUE

## TEST AU MICROMOULINET

