

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE,  
DU COMMERCE ET DE L'ARTISANAT

*Comité Géothermie*  
97, rue de Grenelle, 75007 Paris

BUREAU DE RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL  
B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex

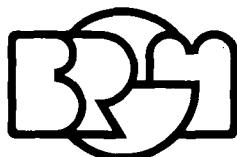
CONFIDENTIEL

# FORAGE LE MEE 1

## RAPPORT D'ESSAI

par

H. FABRIS



Département géothermie  
B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

78 SGN 044 GTH

Janvier 1978

## R E S U M E

---

Le puits LE MEE 1 est le puits de production d'un doublet géothermique. Ce doublet est situé dans la ZAC des Courtilleraies qui se trouve au voisinage de la ville de Melun.

Les coordonnées du puits LE MEE 1 sont :

X = 621 848.69

Y = 93 146.67

Z = 73.35

Le maître de l'ouvrage de cette réalisation est la *Compagnie Géothermique de Chauffage Urbain (C.G.C.U.)* et le maître de l'œuvre est la société : *Géoservices Hydrologie*.

Les essais de production ont été demandés par le Comité Géothermie du Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat, et ils ont été réalisés pendant les intervalles des acidifications.

Ils ont permis d'évaluer les caractéristiques hydrodynamiques et géothermiques de l'aquifère au droit du puits.

Les paramètres hydrodynamiques déduits de ces essais sont résumés ci-dessous :

- . Etage géologique du réservoir : Dogger.
- . Toit de la zone productrice : 1 710 m.
- . Mur de la zone productrice : 1 759 m.
- . Nature du réservoir : calcaire oolithique.
- . Pression de gisement en tête : de l'ordre de 6.2 bars
- . Débit maximal artésien aux essais :  $188 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- . Hauteur utile (débitmètre de fond) : 35 m.
- . Porosité moyenne (diagraphie de porosité) : 13 %.
- . Groupe kh de l'ordre de 40 à 57 D.m.

- . Permeabilité de l'ordre de 1,16 à 1,54 D. D'origine en partie fissurale.
- . Température de fonds en débit à 1755 m/sol :  $73^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- . Température au toit de la zone productrice à 1710 m/sol :  $72,3^{\circ}\text{ C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ .
- . Température de surface en débit :  $71^{\circ}\text{ C}$ .

Compte tenu des conditions d'essai, ces résultats doivent être considérés comme des ordres de grandeur.

# TABLE DES MATIERES

---

---

|  | <u>Pages</u> |
|--|--------------|
| INTRODUCTION.....  | 1            |
| I - DESCRIPTION DU RESERVOIR ET DU FORAGE.....                       | 2            |
| A. LE RESERVOIR.....   | 2            |
| 1. Profondeur du Dogger et du réservoir.....                         | 2            |
| 2. Nature du réservoir.....  | 2            |
| 3. Hauteur utile et porosité.....                                    | 2            |
| B. LE FORAGE.....  | 2            |
| 1. Coupe technique.....  | 2            |
| 2. Caractéristiques de la garniture.....                             | 3            |
| II - DEROULEMENT DES ESSAIS.....                                     | 3            |
| A. DETAIL (figure 1).....  | 4            |
| B. REMARQUES SUR LES DONNEES UTILISEES POUR<br>L'INTERPRETATION..... | 7            |
| 1. Paliers 1 à 4.....  | 7            |
| 2. Palier 5.....   | 7            |
| III - INTERPRETATION.....  | 8            |
| A. CALCUL DES PERTES DE CHARGE.....                                  | 8            |
| 1. Généralités.....  | 8            |
| 2. Paliers 1 à 5.....  | 9            |
| B. DETERMINATION DES PARAMETRES DU RESERVOIR.....                    | 10           |
| 1. Déterminations à partir de la courbe de THEIS....                 | 10           |
| 1.1. Paliers 1, 2, 3, 4 et 5.....                                    | 11           |
| 1.1.1. Paliers n° 1, 2, 3 et 4.....                                  | 11           |
| 1.1.2. Palier n° 5.....  | 11           |
| 1.2. Palier n° 6.....  | 12           |

|  | <u>Pages</u> |
|--|--------------|
| <b>2. Déterminations à partir de la méthode de HORNÉR.....</b> | <b>12</b>    |
| <b>2.1. Etude du palier n° 5.....</b>                          | <b>12</b>    |
| <b>2.2. Etude des paliers n° 1, 2, 3, 4 et 6.....</b>          | <b>12</b>    |
| <b>2.2.1. Paliers n° 2, 3 et 6.....</b>                        | <b>12</b>    |
| <b>2.2.2. Palier n° 1 et 4.....</b>                            | <b>13</b>    |
| <b>2.2.2.1. Palier n° 1.....</b>                               | <b>13</b>    |
| <b>2.2.2.2. Palier n° 4.....</b>                               | <b>13</b>    |
| <b>C. APPRECIATION DES VALEURS CALCULEES.....</b>              | <b>14</b>    |
| <b>1. Groupe kh et perméabilité.....</b>                       | <b>14</b>    |
| <b>2. Skin effect.....</b>                                     | <b>14</b>    |
| <b>CONCLUSION.....</b>   | <b>15</b>    |

ANNEXE 1 : Données numériques relatives aux essais

ANNEXE 2 : Résumé des renseignements tirés des diagraphies différentes

## INTRODUCTION

---

Le puits LE MEE 1 est le puits de production d'un doublet géothermique implanté dans la ZAC des Courtilleraies au voisinage de la ville de Melun. Le réservoir capté par l'ouvrage fait partie du Dogger.

Les essais d'évaluation de la productivité de la couche ont été demandés par le Comité Géothermie du Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat. Ils ont été réalisés pendant les travaux de mise en production.

Le réservoir a été stimulé par lavage à l'acide et par air-lift entre le 29/10/77 et le 31/10/77. L'acidification a été réalisée en plusieurs étapes et le maître de l'ouvrage a fait procéder à des mesures de remontée de pression lors des périodes de fermeture du puits. Il y a donc eu plusieurs cycles d'opération, comprenant :

- une période de débit,
- la fermeture du puits,
- suivi de mesures de remontée de pression jusqu'à la stabilisation,
- mise en place d'un bouchon d'acide que l'on laissait agir pendant quelques heures.

Les différentes phases se sont déroulées avec une garniture de tiges dans le puits.

De ce fait, les mesures obtenues dans ces conditions ont été perturbées. Toutefois, moyennant certaines corrections, elles ont permis d'estimer certaines caractéristiques hydrodynamiques du réservoir, à savoir :

- la pression statique de gisement en tête de puits dont dépend l'artésianisme,
- la transmissivité, ou produit de la perméabilité intrinsèque par la hauteur utile du réservoir,
- la perméabilité, qui caractérise la facilité avec laquelle la formation laisse produire le fluide,

## I - DESCRIPTION DU RESERVOIR ET DU FORAGE

### A. Le réservoir

Le réservoir testé est constitué par le calcaire oolithique situé dans la partie supérieure du Dogger.

#### 1) Profondeurs du Dogger et du réservoir

- Toit du Dogger : 1 683 m/sol
- Toit du réservoir : 1 709 m/sol
- Mur du réservoir : 1 773 m/sol.

#### 2) Nature du réservoir

Les niveaux producteurs sont constitués de calcaire oolithique formant un ensemble relativement homogène du point de vue lithologique (d'après les diagraphies).

#### 3) Hauteur utile et porosité (diagraphies SPE interprétées par A. CLOT, ingénieur au département Géothermie)

La hauteur utile du réservoir, c'est à dire, la hauteur de formation qui produit l'eau géothermale, déterminée d'après le débitmètre de production, est :

$$h_u = 35 \text{ m, compris entre } 1710 \text{ et } 1759 \text{ m}$$

La porosité moyenne du réservoir, déterminée d'après le log SONIC-BHC, est :

$$\varnothing_m = 13 \text{ %.}$$

### B. Le forage

#### 1) Coupe technique

Le puits est tubé selon le schéma suivant :

- tubage 10 3/4 (32,75 lb/ft) de 0 à 139,30 m.
- tubage 7" (23 lb/ft) de 139,30 à 1688,6 m.
- puits foré en 6" de 1688,6 à 1803 m,

le réservoir est produit en trou ouvert.

## 2) Caractéristiques de la garniture

Les 4 premiers paliers de production ont été réalisés avec la garniture d'injection d'acide au fond du puits. Ceci entraînait une perte de charge supplémentaire car le forage ne débitait que par l'annulaire tubage - garniture. Une correction a donc été appliquée aux lectures de pression.

Au cours de ces 4 paliers, la cote de fond de la garniture a varié de 1698 à 1775 m. La garniture était composée de :

- 136 m de tubings 2 7/8 à la base,
- de tiges 3 1/2 pour la partie supérieure.

## II - DÉROULEMENT DES ESSAIS

Les diverses phases de stimulation du réservoir se sont déroulées du 29/10 au 31/10/77.

La pression statique de gisement ramenée en tête a été mesurée le 16.2.78, après plusieurs semaines de fermeture du puits, elle est comprise entre 6.1 et 6.2 bars. Ce même jour après quelques heures de production, la pression en tête a été mesurée immédiatement après la fermeture de l'ouvrage. Elle était comprise entre 8.1 et 8.2 bars après recompression de la couche. La différence de pression mesurée est donc de 2 bars et :

$$2 \text{ bars} \neq 2.1 \text{ kg/cm}^2$$

Cette surpression correspond à l'allègement de la colonne de fluide par échauffement, il s'ensuit que la pression exercée sur la couche diminuant, la pression statique ramenée en tête augmente d'autant. Le calcul théorique montre que cette variation de pression sur la couche est exactement de 2.33 kg/cm<sup>2</sup> ce qui s'accorde bien avec la valeur observée en tête.

Il faudrait tenir compte également, de l'allègement provoqué par l'individualisation des gaz dissous lorsque l'ouvrage est en production. Mais l'influence de ce phénomène, qui a été évaluée sur d'autres installations géothermiques peut être considérée comme négligeable. De ce fait, en l'absence de mesures du point de bulle, elle n'a pas été prise en compte.

Pour l'interprétation des essais, la pression potentielle en tête, en production, a donc été prise égale à 8 bars.

D'autre part, en l'absence de données sur la salinité de l'eau, la valeur de salinité prévisionnelle, soit 12 g/l, a été utilisée dans les calculs.

#### A. Détail\_(fig\_1)

##### ESSAI N° 1

1.1. Le 29/10, de 16 h 20 à 19 h : production d'eau géothermale

Débit initial : 69 m<sup>3</sup>/h

Débit final : 74 m<sup>3</sup>/h.

Débit moyen (évalué graphiquement) : 72 m<sup>3</sup>/h.

1.2. Le 29/10, de 19 h à 19h45 , mesures de remontée de pression.

1.3. Le 29/10, de 19 h 45 à 21 h 45 : acidification n° 1  
(bases des tiges à : 1698,5 m).

ESSAI N° 2

2.1. Du 29/10 à 21 h 45 au 30/10 à 2 h 30 : production.

Débit moyen : 84 m<sup>3</sup>/h.

2.2. Le 30/10 de 2 h 30 à 2 h 45 : mesures de remontée de pression.

2.3. Le 30/10 de 2 h 45 à 6 h : acidification n° 2 (base des tiges à 1736 m).

ESSAI N° 3

3.1. Le 30/10 de 6 h à 9 h 10 : production.

Débit moyen : 88 m<sup>3</sup>/h.

3.2. Le 30/10 de 9 h 10 à 9 h 55 : mesures de remontée de pression.

3.3. Le 30/10 de 9 h 55 à 13 h : acidification n° 3 (base des riges à 1758 m).

ESSAI N° 4

4.1. Le 30/10 de 13 h à 16 h : production.

Débit moyen : 88 m<sup>3</sup>/h.

4.2. Le 30/10 de 16 h à 16 h 15 : mesures de remontée de pression

4.3. Le 30/10 de 16 h 15 à 23 h : acidification n° 4 (base des tigres à 1698,5 m).

ESSAI N° 5

5.1. Du 30/10 à 23 h au 31/10 à 9 h 30 : production.

5.1.1. Du 30/10 à 23 h au 31/10 à 6 h : remontée de la garniture d'acidification.

débit initial : 90 m<sup>3</sup>/h

débit final : 170 m<sup>3</sup>/h.

5.1.2. Le 31/10 de 6 h à 9 h 30 : production avec 300 m de garniture dans le trou.

Débit moyen :  $170 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Débit moyen de l'essai (évalué graphiquement) :  $145 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Pour obtenir cette valeur et en l'absence d'autres éléments, on a supposé que le débit passe progressivement de 90 à  $170 \text{ m}^3/\text{h}$ , au fur et à mesure de la remontée de la garniture.

5.2. Le 31/10 de 9 h 30 à 9 h 45 : mesures de remontée de pression.

#### ESSAI N° 6

6.1. Le 31/10 de 9 h 45 à 11 h : production sans garniture dans le puits.

6.1.1. de 9 h 45 à 10 h 45 : air-lift.

Débit moyen ;  $275 \text{ m}^3/\text{h}$ .

6.1.2. de 10 h 45 à 11 h : débit artésien.

Dernier débit :  $135 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Débit moyen du palier (évaluation graphique) :  $230 \text{ m}^3/\text{h}$ .

6.2. Le 31/10 de 11 h à 17 h, fermeture du puits, mesure de la remontée de pression de 11 h à 11 h 20.

#### ESSAI N° 7

7.1. Le 31/10 de 17 h à 20 h 30 : production en trou ouvert.

Débit moyen :  $188 \text{ m}^3/\text{h}$ .

7.2. Le 31/10 à 20 h 30 : fermeture du puits.

#### REMARQUE

Compte tenu de l'insuffisance des données de débit, on a déterminé le débit moyen équivalent pour tous les paliers où on observe des variations de débits. Ceci a été fait dans le but de ne pas avoir un découpage trop complexe.

## B. Remarques sur les données utilisées pour l'interprétation

### 1. Paliers 1 à 4

Compte tenu du manque de données intermédiaires et dans un but de simplification des calculs de perte de charges, on a considéré que :

- le diamètre du trou dans le réservoir était identique au diamètre intérieur du tubage 7". Ceci est justifié par la faible différence des deux diamètres (quelques millimètres) et la hauteur peu importante du découvert en regard de celle du 7".
- pour les 4 paliers, la cote moyenne de la garniture était de 1736 m (soit  $(1698 + 1775)/2$ ). Dans ces conditions, la composition de la garniture est la suivante :
  - 1 600 m de tiges 3 1/2 ;
  - 136 m de tubing 2 7/8 à la base.

### 2. Palier n° 5

Pour ce palier, le débit et la perte de charge dans les tubages (elle-même fonction de la longueur de garniture immergée) ont tous 2 variés de façon complexe, mais ils sont fonction l'un de l'autre. Aussi, pour interpréter l'essai, on a recherché la hauteur de garniture immergée équivalente correspondant au débit moyen équivalent de  $145 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Compte tenu du fait qu'après la deuxième acidification les caractéristiques du réservoir n'ont plus évolué comme le montre la figure 1 (pour les paliers 3, 4 et 5, où on obtient des débits du même ordre de grandeur pour la même longueur de garniture dans le puits), on a reporté sur la figure 2 les débits artésiens quasi-stabilisés, en fonction de la longueur de garniture immergée pour les paliers 5 et 7. La courbe obtenue est très sensiblement linéaire. Elle permet (début et fin) de déterminer la longueur de garniture équivalente pour  $Q_m = 145 \text{ m}^3/\text{h}$ , soit :  $h = 700 \text{ m}$ .

### III - INTERPRETATION

#### A. Calcul des pertes de charge

##### 1. Généralités

Pour les paliers 1, 2, 3, 4, 5 et 7, le puits a débité en trou ouvert artésien, c'est-à-dire qu'il n'y avait pas de vannage en tête et que le débit produit n'était fonction que de la qualité du réservoir, la géométrie du trou et la longueur de garniture immergée.

Dans ces conditions, la pression du débit en tête est donnée par la relation suivante :

$$P_{dq} = P_g - P_{cq} - \Delta P_{cq} - P_{hq} - \Delta P_q \quad (1)$$

où :

$P_{dq}$  est la pression en tête de puits au débit  $q$  ;

$P_g$  est la pression potentielle de gisement ramenée en tête de puits, au débit  $q$  et à la température de surface  $t$ .

$P_{cq}$  est la perte de charge totale du matériel d'équipement tubulaire, au débit  $q$  ;

$\Delta P_{cq}$  est la perte de charge complémentaire, au débit  $q$ , liée à l'introduction de la garniture dans le trou ;

$P_{hq}$  est la dépression hydrodynamique de débit, au débit  $q$  ;

$\Delta P_q$  est la perte de charge dans le réservoir, au voisinage de l'ouvrage, par effet pariétal (skin effect), au débit  $q$ .

##### REMARQUE

Pour tous les calculs, l'approximation  $1 \text{ atm} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ bar}$  a été utilisée.

## 2. Paliers 1 à 5

Pour ces paliers, le puits débitant en trou ouvert artésien, on a :

$P_{dq} = 0^*$ , ce qui permet d'écrire la relation (1) sous la forme :

$$\Delta P_{cq} = P_g - P_{cq} - P_{hq} - \Delta P_q$$

Ce qui signifie que  $\Delta P_{cq}$  est la pression que l'on observerait en tête au débit considéré et en l'absence de la garniture. Et l'on peut exprimer  $\Delta P_{cq}$  par :

$$\Delta P_{cq} = P_{cq(eq)} - P_{cq}$$

où  $P_{cq(eq)}$  est la perte de charge, au débit  $q$ , dans l'espace annulaire assimilé à une canalisation de section équivalente, lorsque ce dernier produit avec la garniture d'acidification en place.

Le tableau ci-dessous donne les résultats des valeurs des pertes de charges calculées :

| PALIERS                | : | :   | :    | :        | :   |
|------------------------|---|-----|------|----------|-----|
|                        | : | 1   | 2    | :3 et 4: | 5   |
| débit ( $m^3/h$ )      | : | 72  | 84   | 88       | 145 |
| $P_{cq}$ (bars)        | : | 0.8 | 1.05 | 1.2      | 3.1 |
| $P_{cq(eq)}$ (bars)    | : | 2   | 2.7  | 3        | 4.4 |
| $\Delta P_{cq}$ (bars) | : | 1.2 | 1.65 | 1.8      | 1.3 |

\* : la pression atmosphérique est prise comme pression de référence.

### B. Détermination des paramètres du réservoir

Le système d'unités utilisé pour l'interprétation est le système DARCY où les unités sont :

|        |                 |                                  |
|--------|-----------------|----------------------------------|
| C      | compressibilité | vol/vol/atm                      |
| $\phi$ | porosité        | sans dimension                   |
| h      | hauteur         | cm                               |
| K      | perméabilité    | darcies                          |
| p      | pression        | atmosphères (1 atm $\neq$ 1 bar) |
| $\mu$  | viscosité       | centipoises                      |
| q      | débit           | cm <sup>3</sup> /s               |
| r      | rayon           | cm                               |
| t      | temps           | secondes.                        |

Deux méthodes de calcul ont été employées.

Elles permettent l'étude des courbes de remontée de pression (build-up). Il s'agit de :

- la méthode de superposition sur une courbe de Theis par utilisation d'un graphique bi-logarithmique ;
- la méthode de Horner généralisée qui permet de prendre en compte un historique de débit complet. Les paramètres sont déterminés d'après la pente d'une droite expérimentale obtenue par report des points sur un graphique arithmétique.

#### 1. Déterminations à partir de la courbe de Theis

Le logarithme de la différence de pression, entre la pression en cours de remontée et la pression de fin de débit, est reporté en fonction du logarithme du temps écoulé depuis l'arrêt du débit.

La courbe obtenue lors de l'essai est superposée à la courbe de Theis [fonction  $-Ei(-x)$ ] où :

$$x = \phi u c r_w^2 / 4 k t .$$

On en tire les coordonnées d'un ou plusieurs points caractéristiques. Introduites dans les équations, elles permettent le calcul de la transmissivité et de la perméabilité. Mais la méthode n'est valable que pour un temps de remontée ( $\Delta t$ ) petit devant la durée de production (t).

On se fixe, pour l'interprétation, la limite :

$$l = \frac{\Delta t}{t} < 0.1$$

### 1.1. Paliers 1, 2, 3, 4 et 5

Pour ces 5 paliers, la condition de validité est satisfaite ; les périodes de débit sont en moyenne de plusieurs heures et la pression à la remontée est pratiquement stabilisée en moins de 15 minutes.

#### 1.1.1. Paliers n° 1, 2, 3 et 4

Les courbes correspondantes ne sont pas superposables à la fonction de référence et la méthode ne peut être utilisée car les phénomènes vibratoires consécutifs à la fermeture du puits masquent la remontée de pression, et dans la deuxième partie de ces courbes, la stabilisation est quasiment atteinte.

#### 1.1.2. Palier n° 5 (figure 3)

Une superposition relativement satisfaisante a été obtenue en *limite d'abaque* en superposant les points significatifs : points 13 à 30.

Les points 1 à 12 sont perturbés par la fermeture du puits et les points 31 à 35 qui correspondent à la stabilisation apparente, compte tenu de la sensibilité de l'appareil de mesure (manomètre 0-16 bars), ne peuvent pas être considérés.

Ce faisant, la superposition donne pour le point n° 18 :

$$\begin{array}{ll} \Delta P = 5.8 & P_D = 9.2 \\ \text{et} & \\ \Delta t = 240 & T_D = 4.8 \times 10^7 \end{array}$$

$$\text{et } P_D = \frac{2 \pi k h}{q \mu} \times \Delta P \quad \text{soit } kh = P_D \frac{q \mu}{2 \pi \Delta P}$$

$$\text{avec : } \mu = 0,4 \text{ cp} \quad q = 40281 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$kh = 4068 \text{ D} \times \text{cm} \neq 40,7 \text{ D} \times \text{m}$$

\* Cette valeur de la viscosité tient compte des caractéristiques de l'eau en condition de fond : température au toit de la zone productrice 72.3°C et , salinité de l'ordre de 12 g/l.

### 1.2. Palier n° 6

Il n'a pas été étudié par cette méthode car la valeur de  $P_{dq}$  correspondant au débit moyen n'est pas connue.

### 2. Détermination à partir de la méthode de Horner

L'utilisation de la forme généralisée permet de tenir compte de l'influence de tous les paliers. A titre d'exemple, l'équation générale a la forme suivante :

$$\Delta p(t) = \frac{q_1 \mu}{2\pi kh} \left[ \Delta p_D(t) + \sum_{i=2}^n \frac{q_i - q_{i-1}}{q_1} \Delta p_D(t-t_{i-1}) \right]$$

Cette méthode est valable si tous les paliers de production et de recompression du réservoir sont intervenus depuis une durée suffisante pour justifier la condition d'approximation logarithmique de la fonction  $\{-Ei(-x)\}$ . Cette condition est ici toujours satisfaite, sauf peut être pour le palier n° 6.

#### 2.1. Etude du palier n° 5 (figure 4)

La méthode a été appliquée aux points dont la représentativité a été déterminée au paragraphe 1.1.2.

La droite de la pente correspondant aux points 13 à 30 est :

$$m = \frac{\mu}{4\pi kh} = 7 \cdot 17 \times 10^{-6} \text{ bar/(cm}^3/\text{s)}$$

d'où :

$$kh = \frac{\mu}{4 D m} = \frac{0,4}{4\pi \times 7.17 \times 10^{-6}} = 4440 D \times \text{cm} \neq 44 D \times \text{m}$$

#### 2.2. Etude des paliers n° 1, 2, 3, 4 et 6

##### 2.2.1. Paliers n° 2, 3 et 6

Les remontées de pression des paliers 2 et 3 ne sont pas interprétables car le phénomène est masqué par les perturbations liées à la fermeture du puits et aucune droite valable n'a pu être déterminée.

Le palier n° 6 n'a pas été retenu à cause de l'incertitude quant à la validité de la méthode et du manque d'informations concernant l'évolution du débit après air-lift.

### 2.2.2. Paliers n° 1 et 4 (figures 5 et 6)

Afin de conforter les résultats précédents et bien que pour ces paliers les points significatifs n'aient pu être trouvés par la 1ère méthode, on a étudié pour chaque graphique la droite précédant la stabilisation apparente.

#### 2.2.2.1. Palier n° 1 (figure 5)

La droite étudiée est déterminée par les points 14 à 26. La pente obtenue est :

$$m = 6,5 \times 10^{-6} \text{ bar / (cm}^3/\text{s)}$$

et le groupe kh est :

$$kh = \frac{\mu}{4 \pi m} = 4 897 D \times cm \neq 49 D \times m$$

Le changement de pente relatif aux points 13 à 10 correspond vraisemblablement à un effet de "skin", compte tenu du fait qu'il s'agissait de la remontée consécutive à la première période de production, avant tout lavage à l'acide, et que le phénomène ne réapparaît plus par la suite, il n'a pas été jugé utile de le vérifier par le calcul.

Les points 9 à 1 correspondent à la perturbation liée à la fermeture du puits.

#### 2.2.2.2. Palier n° 4 (figure 6)

La droite étudiée est déterminée par les points 25 à 15, la pente obtenue est :

$$m = 5,9 \times 10^{-6} \text{ bar / (cm}^3/\text{s)}$$

et le groupe kh est :

$$kh = \frac{\mu}{4 \pi m} = 5 395 D \times cm \neq 54 D \times m$$

Les points 26 à 31 correspondent à la stabilisation et les points 14 à 1 à la fermeture du puits.

### C. Appréciation des valeurs calculées

#### Groupe kh et perméabilité

Les valeurs obtenues pour le groupe kh sont dans l'ordre :  
41, 44, 49 et 54 D x m.

De ces valeurs, on tire les perméabilités suivantes :

$$k = kh/h :$$

$$1.16, 1.27, 1.40, 1.54 \text{ D.}$$

La perméabilité serait donc comprise entre 1.16 et 1.54 D. Mais, compte tenu de toutes les approximations faites au niveau des données de base, et ce afin de rendre possible l'interprétation, ces résultats, tant pour le groupe kh que pour la perméabilité, ne représentent qu'un ordre de grandeur probable.

D'autre part, l'enregistrement du débitmètre de production montre des décrochements importants, entre 1743 - 1744,5 m et 1747 - 1749 m ; et ces éléments permettent de penser que la perméabilité de la zone productrice est partiellement d'origine fissurale (ce qui est probable du fait de la nature du réservoir).

## CONCLUSION

---

Les caractéristiques hydrodynamiques tirées des essais sont résumées ci-dessous ; elles ne doivent être considérées que comme des ordres de grandeur possibles, en vertu des réserves formulées dans le texte et qui concernent les approximations nécessaires à l'interprétation des données.

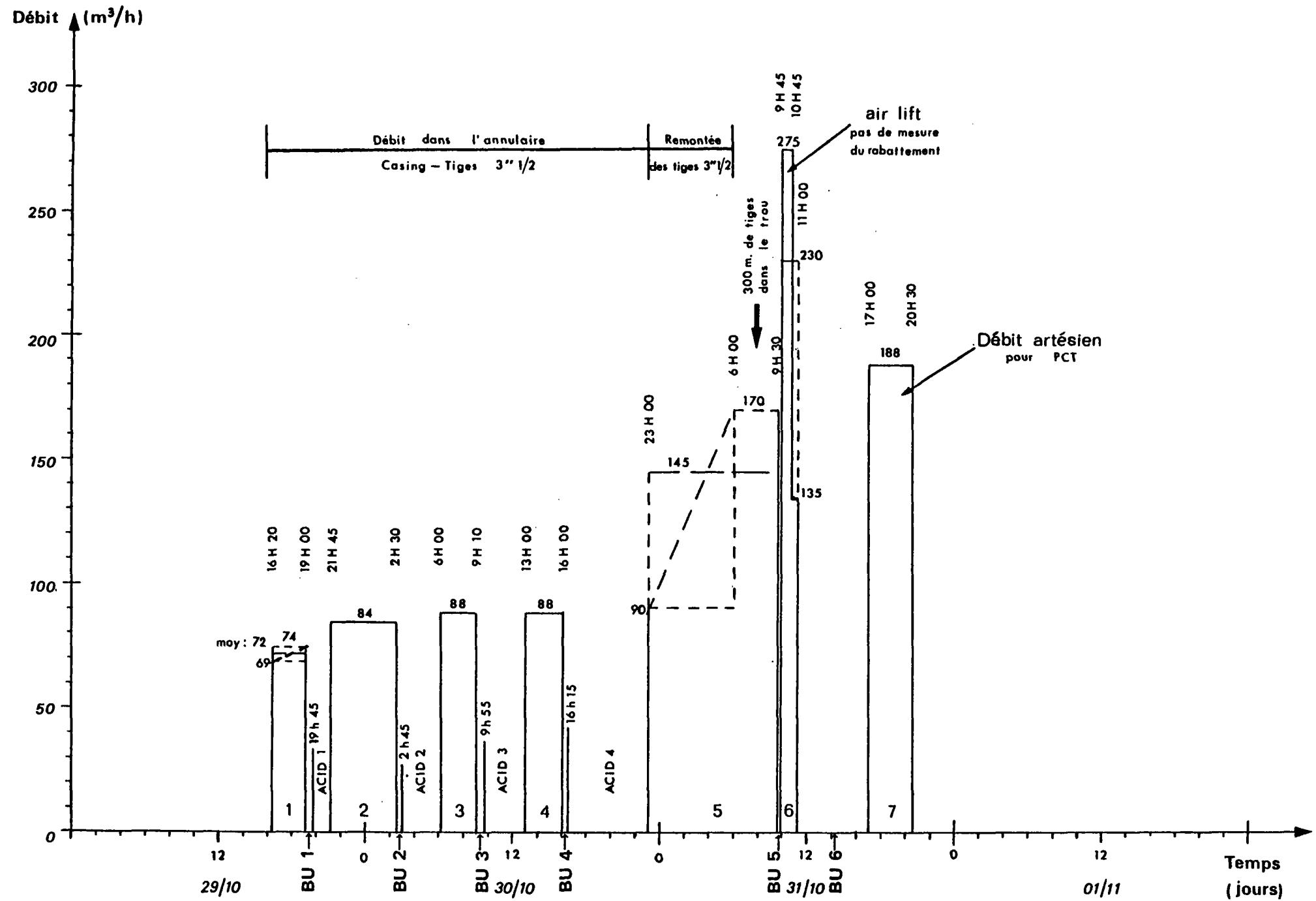
- Etage géologique du réservoir : Dogger.
- Toit de la zone productrice : 1 710 m.
- Mur de la zone productrice : 1 759 m.
- Nature du réservoir : calcaire oolithique.
- Pression de gisement en tête : très voisine de 6,2 bars.
- Débit maximal artésien aux essais :  $188 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- Hauteur utile : 35 m (PCT).
- Porosité moyenne : 13 % (d'après interprétation de l'enregistrement du SONIC BHC).
- Groupe kh de l'ordre de 41 à 54 D x m.
- Perméabilité de l'ordre de 1.16 à 1.54 D, d'origine partiellement fissurale.
- Température de fond en débit à 1 755 m/sol :  $73^\circ\text{C} \pm 0.2^\circ\text{C}$  (PCT).
- Température au toit de la zone productrice à 1 710 m/sol :  $72.3^\circ\text{C} \pm 0.2^\circ\text{C}$ .
- Température de surface en débit  $71^\circ\text{C}$ .

LE MEE 1

---

PLANCHES

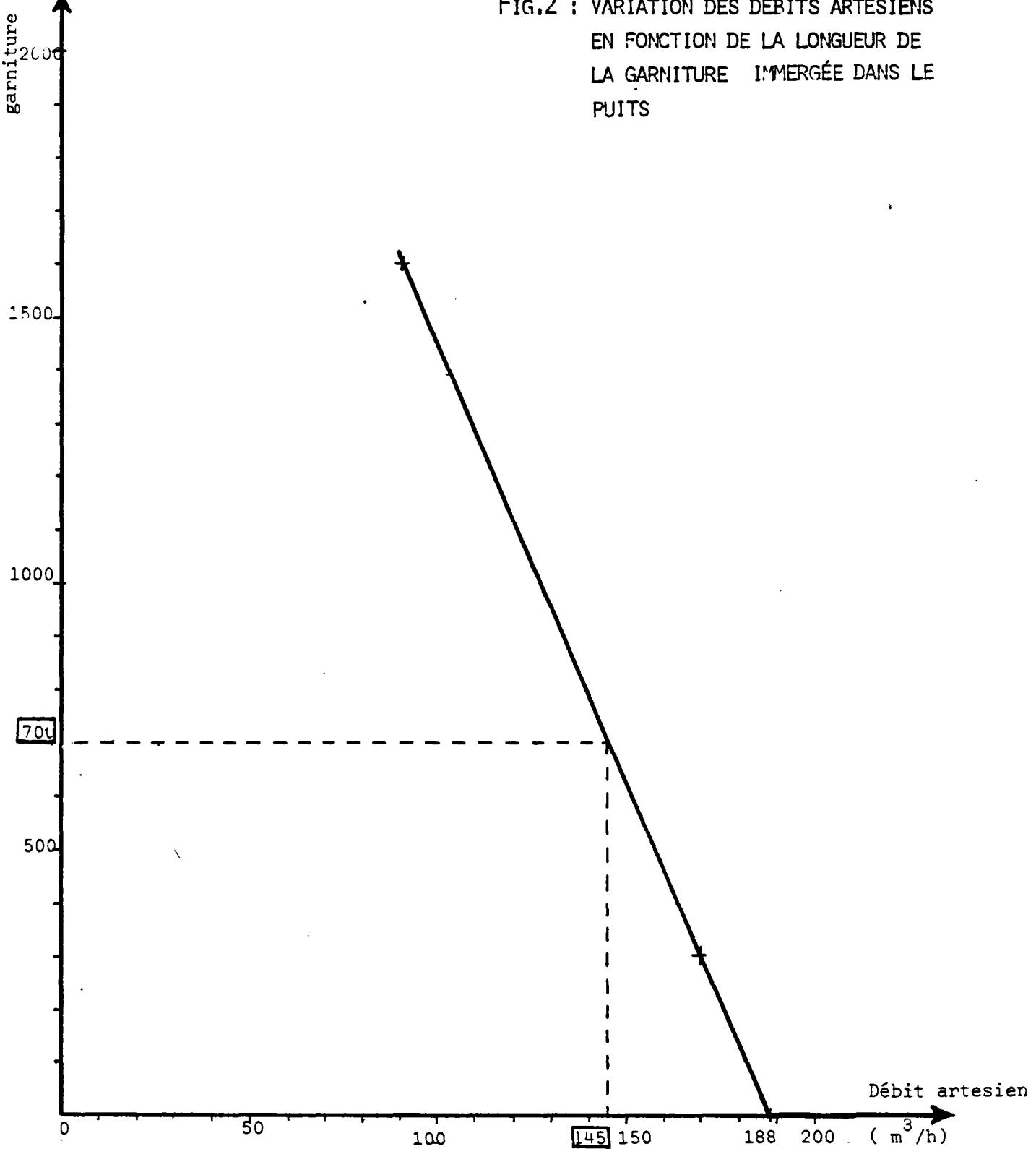
FIG. 1 - GRAPHIQUE RÉCAPITULATIF DES ESSAIS



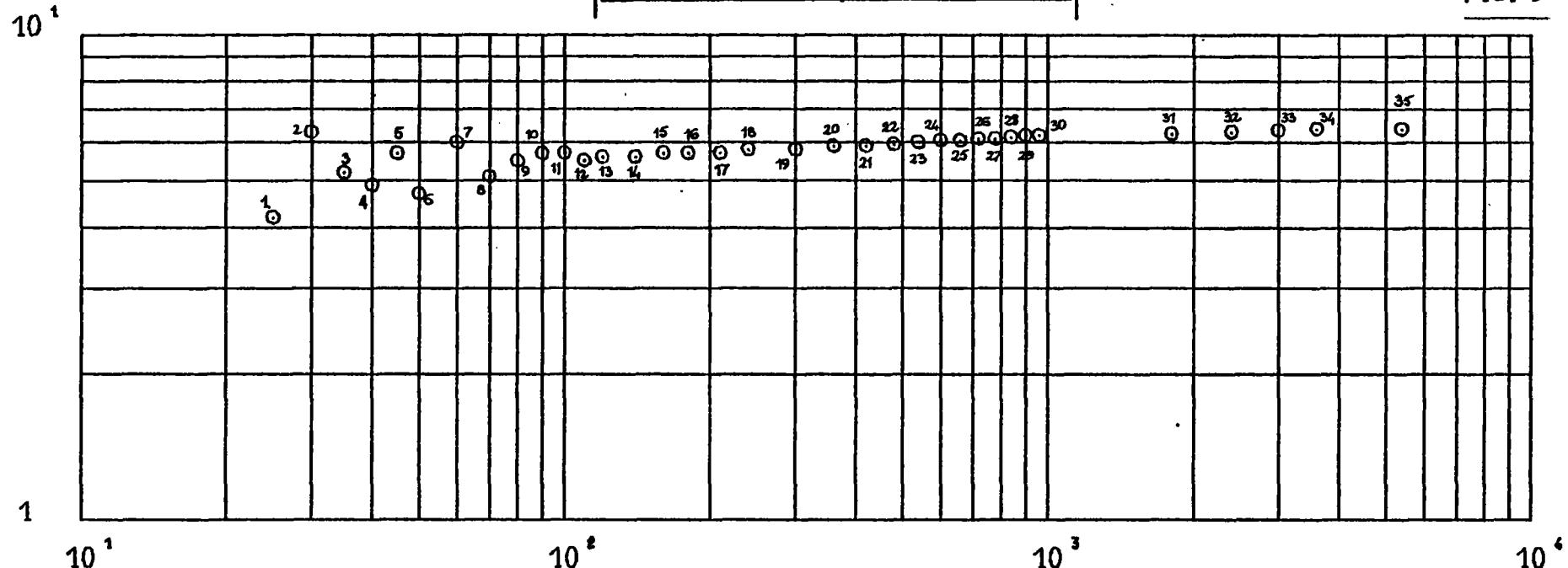
Longueur de la  
garniture immergée

(m)

FIG.2 : VARIATION DES DÉBITS ARTÉSIENS  
EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE  
LA GARNITURE IMMÉRGÉE DANS LE  
PUITS



(PRESSION A LA REMONTEE - PRESSION FINALE EN DEBIT) EN BARS.



PUITS LE MEE 1, ESSAIS SOMMAIRES DU 29/10 AU 31/10  
REMONTEE N°5 (THEIS R.)

FIG.4

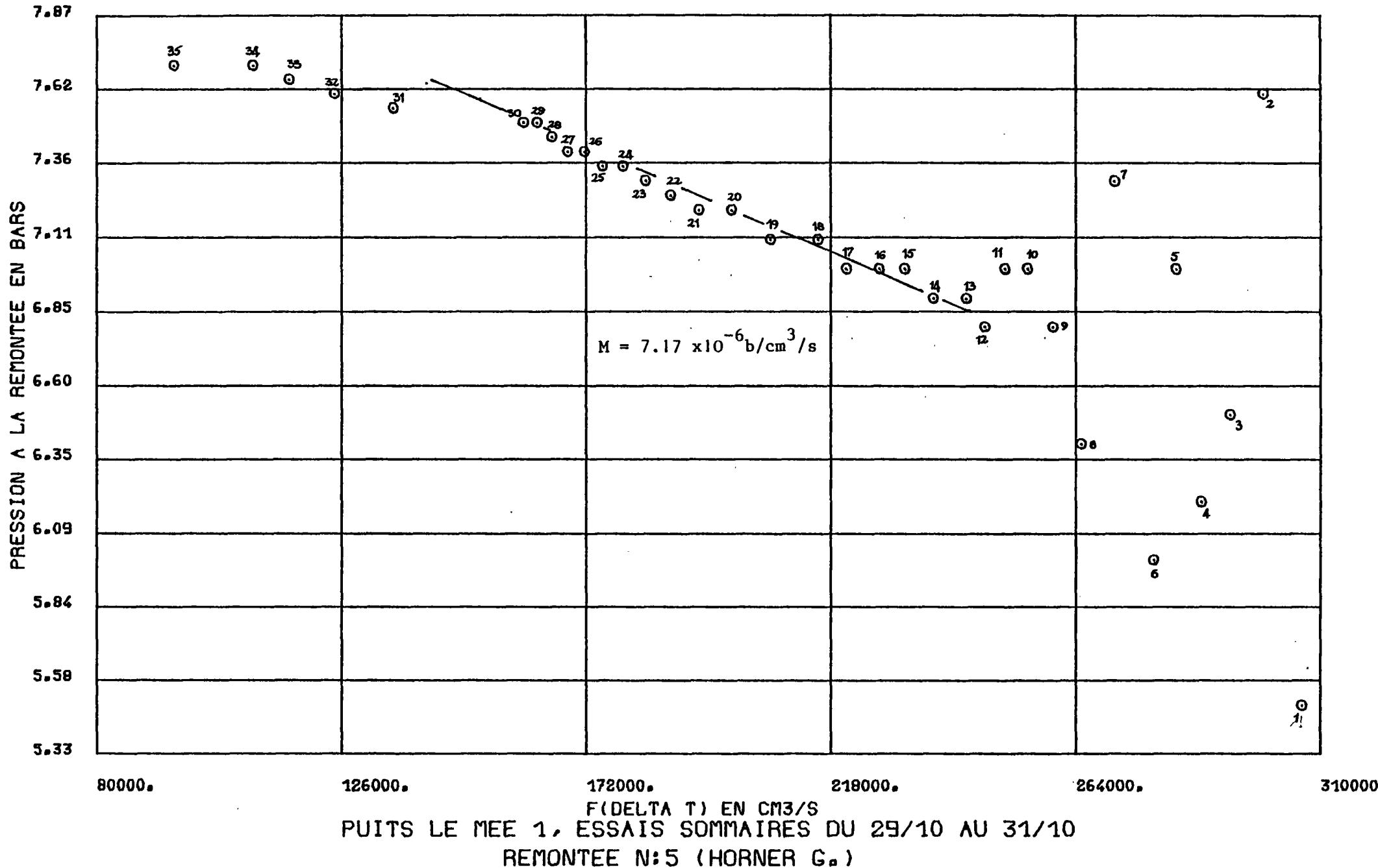


FIG. 5

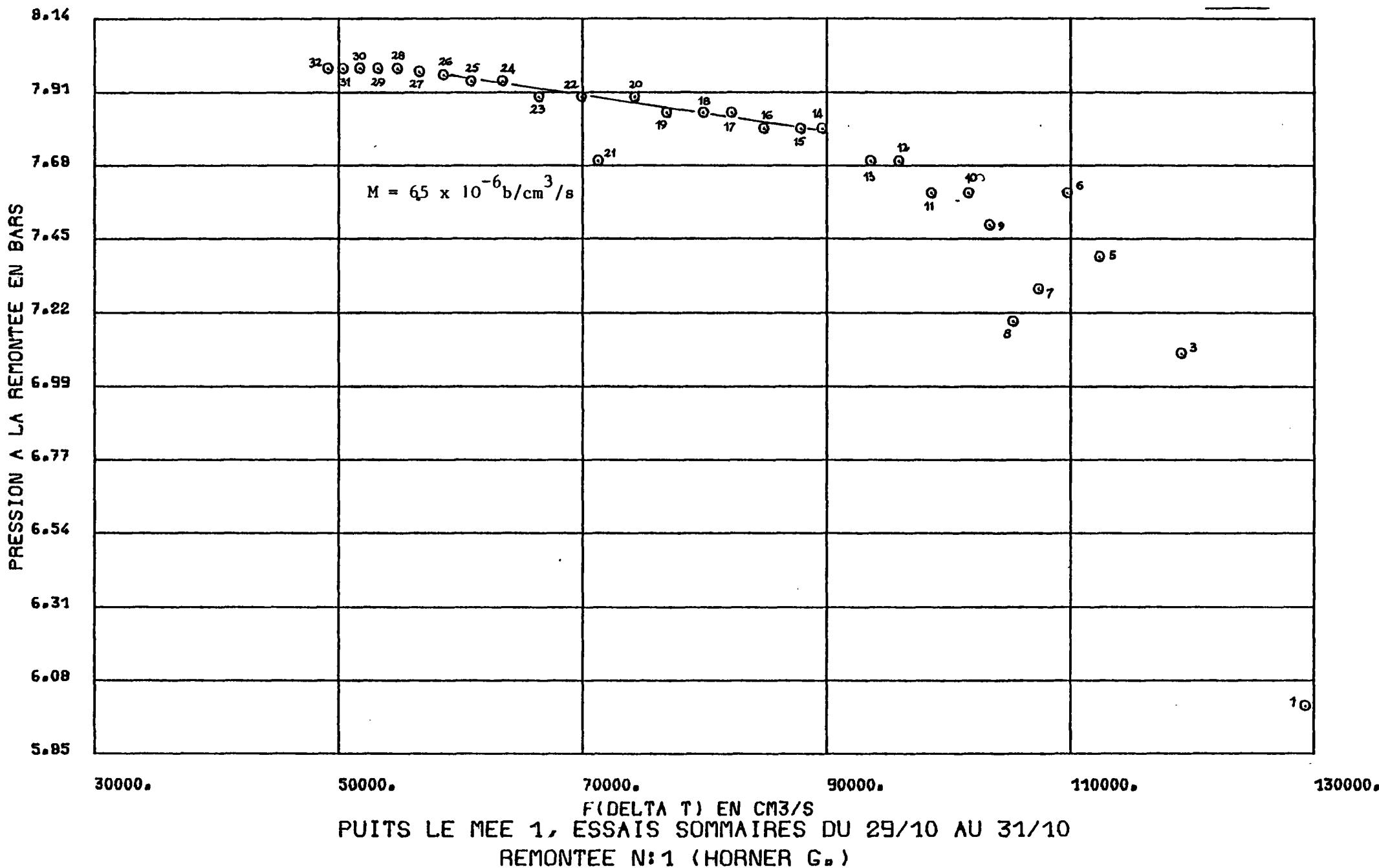
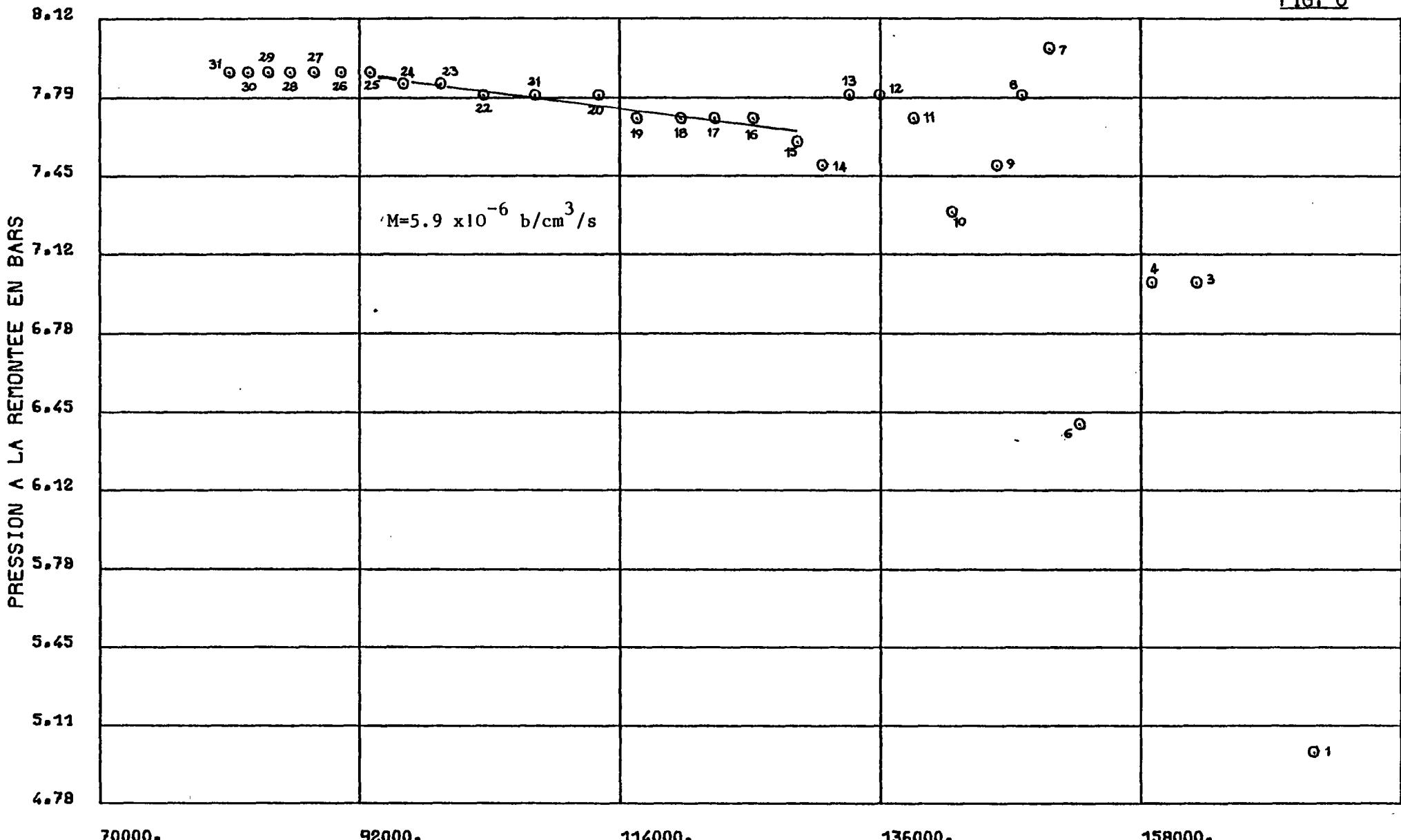


FIG. 6



F(DELTA T) EN CM<sup>3</sup>/S  
 PUIT LE MEE 1, ESSAIS SOMMAIRES DU 29/10 AU 31/10  
 REMONTEE N°4 (HORNER G.)

ANNEXE 1

DONNÉES NUMÉRIQUES RELATIVES AUX ESSAIS

---

PLITS LE MEE 1, ESSAIS SCMAIFES DU 29/10 AU 31/10  
REMONTEE N:5 (THEIS R.)

TEMPS EN SECONDES

(PRESSION A LA REMONTEE - PRESSION FINALE EN DEBIT) EN BAES.

|       |       |
|-------|-------|
| 25.00 | 4.200 |
| 30.00 | 6.300 |
| 35.00 | 5.200 |
| 40.00 | 4.900 |
| 45.00 | 5.700 |
| 50.00 | 4.700 |
| 60.00 | 6.000 |
| 70.00 | 5.100 |
| 80.00 | 5.500 |
| 90.00 | 5.700 |
| 100.0 | 5.700 |
| 110.0 | 5.500 |
| 120.0 | 5.600 |
| 140.0 | 5.600 |
| 160.0 | 5.700 |
| 180.0 | 5.700 |
| 210.0 | 5.700 |
| 240.0 | 5.800 |
| 300.0 | 5.800 |
| 360.0 | 5.900 |
| 420.0 | 5.900 |
| 480.0 | 5.950 |
| 540.0 | 6.000 |
| 600.0 | 6.050 |
| 660.0 | 6.050 |
| 720.0 | 6.100 |
| 780.0 | 6.100 |
| 840.0 | 6.150 |
| 900.0 | 6.200 |
| 960.0 | 6.200 |
| 1800. | 6.250 |
| 2400. | 6.300 |
| 3000. | 6.350 |
| 3600. | 6.400 |
| 5400. | 6.400 |

FLITS LE MEE 1, ESSAIS SCENNAIRES DU 29/10 AU 31/10  
REMONTÉE N°5 (FCFNEP G.)

F (DELTA T) EN CM<sup>3</sup>/S

PRESSION A LA REMONTEE EN BARS

|            |       |
|------------|-------|
| 3.0645E (5 | 5.500 |
| 2.9911E (5 | 7.600 |
| 2.9291E (5 | 6.500 |
| 2.8753E (5 | 6.200 |
| 2.8280F (5 | 7.000 |
| 2.7856E (5 | 6.000 |
| 2.7122F (5 | 7.300 |
| 2.6502E (5 | 6.400 |
| 2.5965E (5 | 6.800 |
| 2.5492F (5 | 7.000 |
| 2.5066E (5 | 7.000 |
| 2.4685F (5 | 6.800 |
| 2.4336E (5 | 6.900 |
| 2.3717E (5 | 6.900 |
| 2.3181F (5 | 7.000 |
| 2.2708E (5 | 7.000 |
| 2.2090F (5 | 7.000 |
| 2.1555F (5 | 7.100 |
| 2.0662F (5 | 7.100 |
| 1.9933E (5 | 7.200 |
| 1.9317E (5 | 7.200 |
| 1.8785E (5 | 7.250 |
| 1.8316F (5 | 7.300 |
| 1.7897E (5 | 7.350 |
| 1.7519E (5 | 7.350 |
| 1.7174E (5 | 7.400 |
| 1.6857E (5 | 7.400 |
| 1.6564E (5 | 7.450 |
| 1.6292E (5 | 7.500 |
| 1.6037E (5 | 7.500 |
| 1.3581E (5 | 7.550 |
| 1.2476E (5 | 7.600 |
| 1.163CE (5 | 7.650 |
| 1.0947E (5 | 7.700 |
| 9.4646F (4 | 7.700 |

PLITS LE NEE 1, ESSAIS SCMMATIFS DU 25/10 AL 21/10  
REMONTÉE N:1 (FCFNER G.)

F (DELTA T) EN CM<sup>3</sup>/S

PRESSION A LA REMONTEE EN BAR

|            |        |
|------------|--------|
| 1.2926E C5 | 6.000. |
| 1.2352E C5 | 5.200. |
| 1.15C6E C5 | 7.100. |
| 1.1543E C5 | 8.300. |
| 1.1236E C5 | 7.400. |
| 1.097CE C5 | 7.600. |
| 1.0735E C5 | 7.300. |
| 1.0525E C5 | 7.200. |
| 1.0336E C5 | 7.500. |
| 1.0163E C5 | 7.600. |
| 5.8566E C4 | 7.600. |
| 5.5916E C4 | 7.700. |
| 9.3581E C4 | 7.700. |
| 7.127CE C4 | 7.700. |
| 8.56C9E C4 | 7.800. |
| 8.7885E C4 | 7.800. |
| 8.4847E C4 | 7.800. |
| 8.2217E C4 | 7.850. |
| 7.9903E C4 | 7.850. |
| 7.6881E C4 | 7.850. |
| 7.4271E C4 | 7.900. |
| 6.993CE C4 | 7.900. |
| 6.6405E C4 | 7.900. |
| 6.3442E C4 | 7.950. |
| 6.085CE C4 | 7.950. |
| 5.8653E C4 | 7.970. |
| 5.6664E C4 | 7.980. |
| 5.4875E C4 | 7.990. |
| 5.3252E C4 | 7.990. |
| 5.1767E C4 | 7.990. |
| 5.04CCE C4 | 7.990. |
| 4.9135E C4 | 7.990. |

FLITS LE MEE 1, ESSAIS SCENNAIRES DU 25/10 AU 31/10  
REMONTEE N°4 (FCFNER C.)

F (DELTA T) EN CM3/S

PRESSION A LA REMONTEE EN BARS

|            |       |
|------------|-------|
| 1.7257E C5 | 5.000 |
| 1.6713E C5 | 5.900 |
| 1.6268E C5 | 7.000 |
| 1.5892E C5 | 7.000 |
| 1.5566E C5 | 8.700 |
| 1.5279E C5 | 8.400 |
| 1.5023E C5 | 8.000 |
| 1.4791E C5 | 7.800 |
| 1.4575E C5 | 7.500 |
| 1.4204E C5 | 7.300 |
| 1.3879E C5 | 7.700 |
| 1.3593E C5 | 7.800 |
| 1.3337E C5 | 7.800 |
| 1.3106E C5 | 7.500 |
| 1.2895E C5 | 7.600 |
| 1.2522E C5 | 7.700 |
| 1.2199E C5 | 7.700 |
| 1.1914E C5 | 7.700 |
| 1.1543E C5 | 7.700 |
| 1.1222E C5 | 7.800 |
| 1.0687E C5 | 7.800 |
| 1.0251E C5 | 7.800 |
| 9.8845E C4 | 7.850 |
| 9.5688E C4 | 7.850 |
| 9.2911E C4 | 7.900 |
| 9.0437E C4 | 7.900 |
| 8.8208E C4 | 7.900 |
| 8.6182E C4 | 7.900 |
| 8.4325E C4 | 7.900 |
| 8.2613E C4 | 7.900 |
| 8.1025E C4 | 7.900 |

## A N N E X E    2

---

---

RÉSUMÉ DES RENSEIGNEMENTS TIRÉS DES DIAGRAPHIES DIFFÉRÉES

---

Les diagraphies enregistrées sur le puits LE MEE 1 ont été interprétées par M. CLOT. Néanmoins, les principaux enregistrements sont présentés sur les planches jointes à l'annexe et sont brièvement commentés ci-dessous.

1. Renseignements donnés par les diagraphies d'exploration (figures 1 et 2)

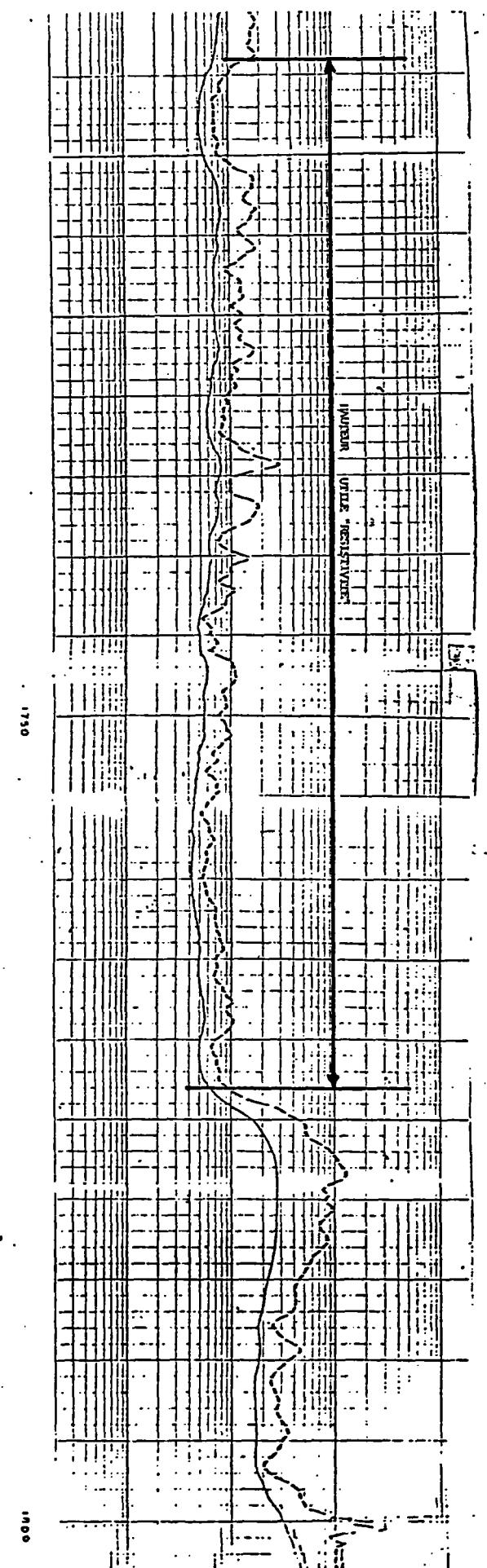
Les enregistrements de résistivité (I E S), de porosité (SONIC BHC) et de radioactivité naturelle (Gamma-Ray), mettent en évidence une zone favorable d'une épaisseur de l'ordre de 65 m.

2. Renseignements donnés par les diagraphies de production (figures 3, 4 et 5)

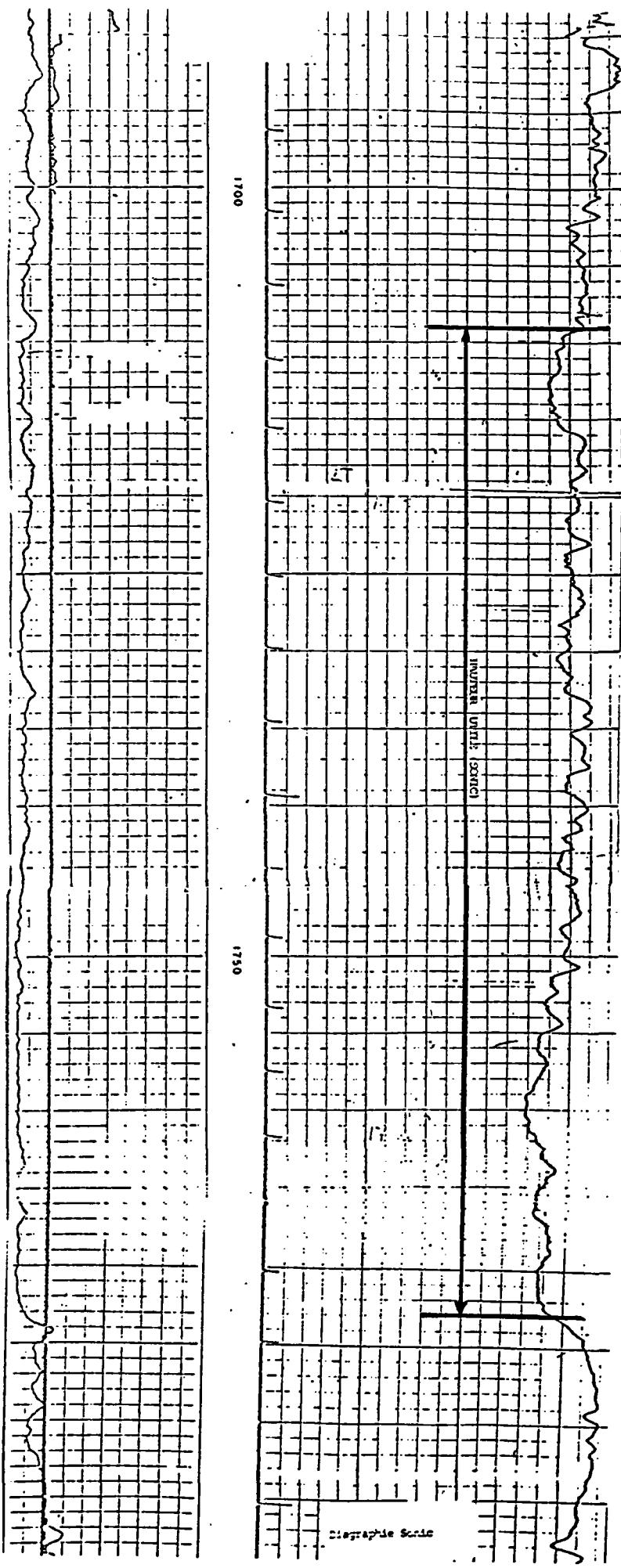
La hauteur utile déterminée d'après la débitmétrie et la thermométrie n'est que de 35 m (figures 3 et 4). Cependant, l'enregistrement du diamètreur (figure 5) met en évidence les emplacements où ont agi les bouchons d'acide B2 et B3. Ces bouchons ont travaillé en place (c'est-à-dire à la cote où ils ont été injectés). D'autre part, le compte rendu d'acidification indique qu'il n'y a pas eu d'acide mis en place dans la zone inférieure du réservoir ; cette zone, qui ne produit pas, serait donc probablement colmatée.

Il apparaît donc que la descente par gravité de la solution acide n'est pas toujours aussi importante qu'on le pense généralement. Mais il ne faut pas pour autant en conclure que l'acide reste toujours en place, en effet, si les bouchons 2 et 3 n'ont pas bougé, les bouchons 1 et 4 qui ont été injectés au sommet du réservoir (1698,5 m) se sont déplacés et l'un deux (ou les deux) a laissé des traces à 1718 m.

Pour accroître l'efficacité des acidifications, il y aurait donc lieu d'une part de répartir les bouchons d'acide sur toute la hauteur des réservoirs, et d'autre part d'utiliser des agents divergents. Ces produits, qui ne présentent pas de danger pour la productivité de l'ouvrage, sont des colmatants temporaires qui peuvent être dissous par lavage au fuel et sont utilisés dans l'industrie pétrolière. Leur utilisation au cours des acidifications permettrait d'éviter que tout l'acide ne soit absorbé dans la partie la plus perméable des réservoirs.

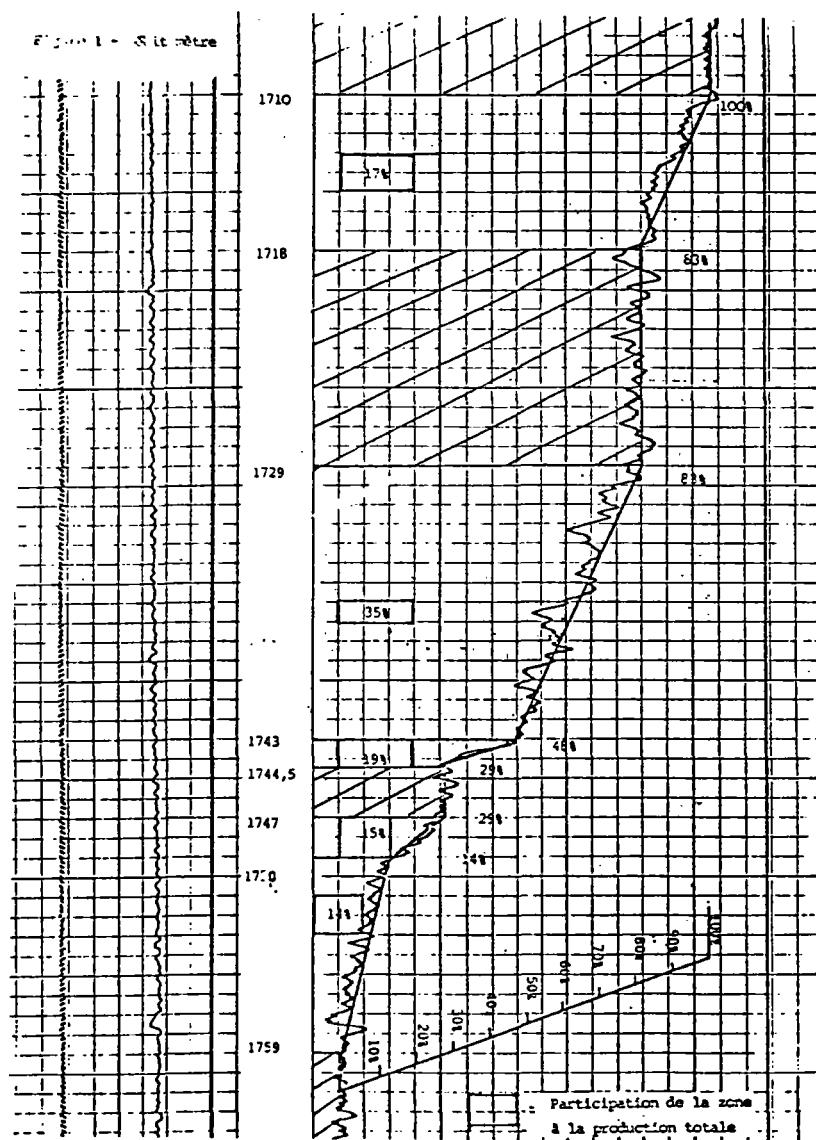


ANNEXE 2 - FIGURE 1  
DIAGRAPHIE D'INDUCTION (I E S)



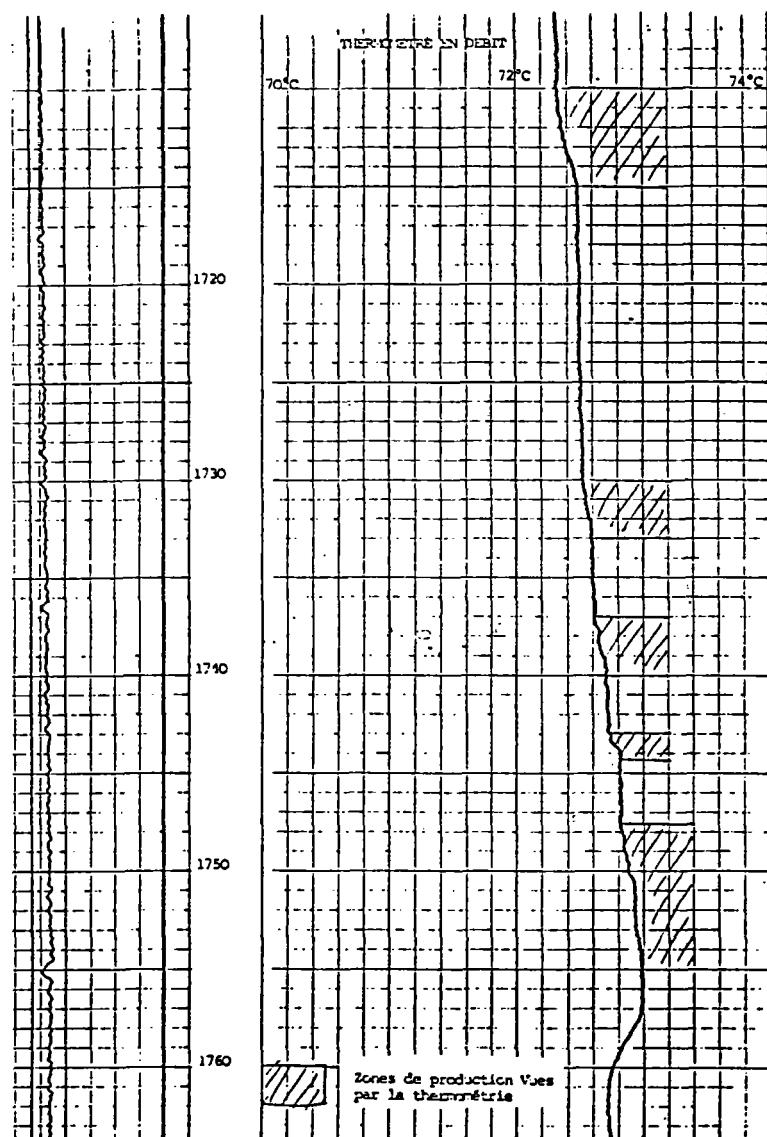
ANNEXE 2 - FIGURE 2

DIAGRAPHIES : SONIC ET GAMMA-RAY



ANNEXE 2 - FIGURE 3

DEBITIMETRE DE PRODUCTION



ANNEXE 2 - FIGURE 4

THERMOMETRIE EN DEBIT

