

# DEPARTEMENT DE L'HERAULT

## SIVOM DU LARZAC

### COMPTE RENDU DES TRAVAUX DE FORAGE D'EXPLOITATION DE NAVACELLES



NAV/AEP01/LS – Février 2006



**B<sub>e</sub>.M.E.A.**

Bureau d'études Méditerranéen pour l'Eau  
et l'Assainissement  
Mas Caussignac  
1140, Avenue des Moulins  
34080 MONTPELLIER  
Tél : 04 67 04 56 83  
Fax : 04 67 04 54 23  
Site : [www.bemea.net](http://www.bemea.net)



## SOMMAIRE

<b>I - OBJECTIFS.....</b>	<b>3</b>
<b>II - CONTEXTE GEOGRAPHIQUE.....</b>	<b>3</b>
<b>III – CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE SOMMAIRE .....</b>	<b>4</b>
<b>IV - COMPTE RENDU DES TRAVAUX DE FORAGE .....</b>	<b>4</b>
4.1. Les moyens mis en œuvre.....	4
4.2. Suivi des travaux de forages.....	5
<b>V – COMPTE RENDU DES POMPAGES D'ESSAI.....</b>	<b>8</b>
5.1. Les moyens mis en oeuvre .....	8
5.2. Résultats des pompages d'essai par paliers de débits sur le forage F3 Amont.....	9
5.3. Résultats des pompages d'essai par paliers de débits sur le forage F4 Aval.....	12
5.4. Résultats des pompages d'essai de longue durée.....	14
<b>VI- QUALITE DES EAUX D'EXHAURE .....</b>	<b>16</b>
<b>VII – CONCLUSIONS .....</b>	<b>17</b>

### LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Situation géographique des travaux de forages Extrait des fonds topographiques de l'IGN. Echelle graphique.
Figure 2 :	Coupe lithologique et technique du forage F3 Amont.
Figure 3 :	Coupe lithologique et technique du forage F4 Aval.
Figure 4 :	Pompages d'essai par paliers de débits sur le forage F3 Amont.
Figure 5 :	Courbe caractéristique du forage F3 Amont.
Figure 6 :	Droite débit / rabattement spécifiques du forage F3 Amont.
Figure 7 :	Pompages d'essai par paliers de débits sur le forage F4 Aval.
Figure 8 :	Courbe caractéristique du forage F4 Aval.
Figure 9 :	Droite débit / rabattement spécifiques du forage F4 Aval.
Figure 10 :	Pompages d'essai de longue durée sur F3 Amont (Echelle linéaire).
Figure 11 :	Pompages d'essai de longue durée sur F3 Amont (Echelle semi-logarithmique).
Figure 12 :	Suivi des variations des niveaux de la Vis au cours des pompages d'essai de longue durée sur F3 Amont (Echelle linéaire).
Figure 13 :	Suivi des niveaux dynamiques des piézomètres de contrôle (Echelle linéaire).
Figure 14 :	Suivi des niveaux dynamiques des piézomètres de contrôle (Echelle semi-logarithmique).

\* \* \*

## I - OBJECTIFS

A la demande du SIVOM du Larzac sous la direction de son maître d'œuvre le Cabinet JULLIEN Ingénierie, nous sommes intervenus pour suivre les travaux de forage destinés à exploiter les tufs quaternaires sous couvertures alluviales et colluviales récentes sur le site de Navacelles en bordure de la VIS.

Notre mission consistait en :

- le suivi hydrogéologique des travaux de forage avec assistance technique pour l'équipement des nouveaux forages ;
- le suivi et l'interprétation des pompages d'essai.

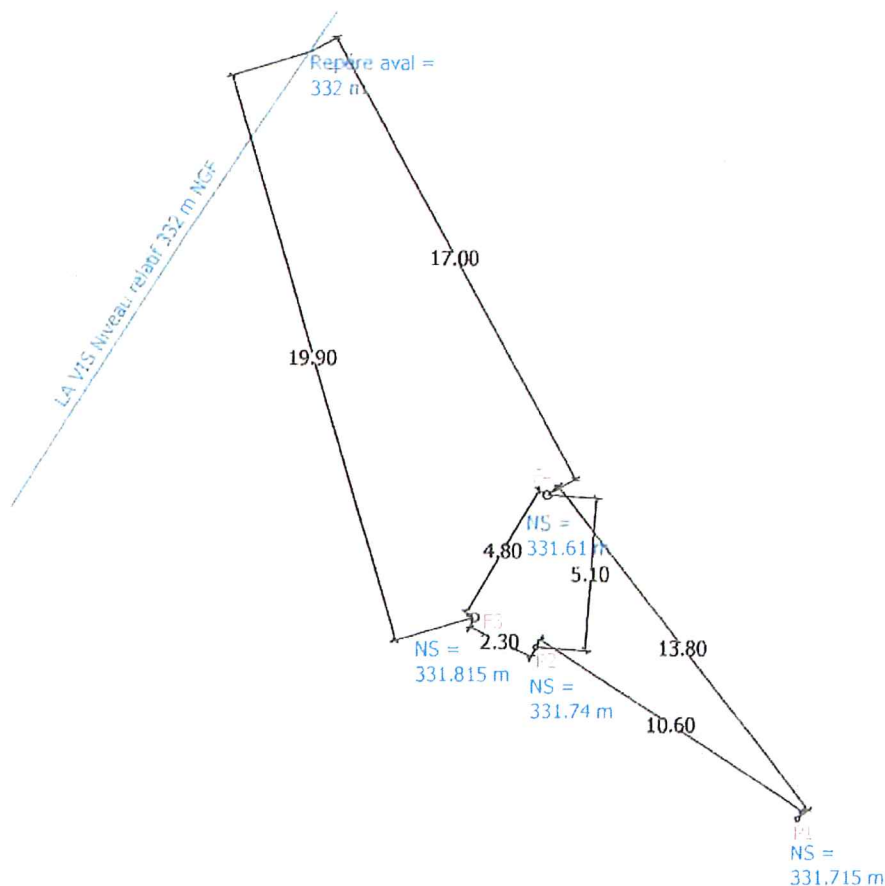
## II - CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Les forages F3 amont et F4 aval se situent sur la commune de St-Maurice de Navacelles sur la parcelle n°31 du relevé cadastral. Les coordonnées Lambert III des ouvrages réalisés sont les suivantes (**fig.1**) :

Forage F3 amont : X = 694,062      3177,971      Z = 339 m NGF (estimation GPS)

Forage F4 aval : X = 694,064      3177,968      Z = 339 m NGF (estimation GPS)

Les forages réalisés sont situés en rive droite du cours de la Vis au niveau d'une petite terrasse alluviale jadis exploitée en prés. Le site de captage est positionné à quelques 200 m à l'Ouest du hameau de Navacelles et une vingtaine mètres au Sud du lit de la Vis.





---

### III – CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

#### SOMMAIRE

---

Les forages F3 et F4 sollicitent l'aquifère des tufs quaternaires sous couverture alluviale et colluviale quaternaires avec comme substratum local les calcaires dolomitiques de l'Oxfordien. L'étude des empreintes de végétaux que renferment les tufs carbonatés et les datations au carbone 14 sur des échantillons pris proches du hameau de Madières placent ces tufs vers -6000 ans, c'est-à-dire au cours de l'Holocène, après le Würm dernière période froide de l'Ere quaternaire.

Sous les niveaux quaternaires, l'ensemble des calcaires atteindrait une puissance d'une trentaine de mètres avec un pendage globalement orientée vers le Sud-Est à 10 °.

Plus localement les alluvions (ou colluvions locales) ainsi que les tufs calcaires ayant pour origine les résurgences en pied de falaise recouvrent les formations oxfordiennes sur 15 à 18 mètres d'épaisseur.

La coupe lithologique renseignée du forage de reconnaissance F2 est la suivante :

- 0 - 0,5 m : terre végétale ;
- 0,5 – 1,6 limons et sables ;
- 1,6 – 4,2 m : limons argileux à graviers ;
- 4,2 – 5,7 m : limons argileux gris et sables ;
- 5,7 – 10,6 m : sables, argiles et graviers aquifères ;
- 10,6 – 16 m : tufs calcaires aquifères.

Les coupes lithologiques et techniques des forages F3 et F4 sont données au chapitre suivant.

Les forages F3 amont et F4 aval sollicitent un aquifère mixte constitué des niveaux aquifères des alluvions récentes et des tufs calcaires alimenté par le cours de la Vis et pour partie par l'aquifère karstique du causse via les calcaires oxfordiens (source (rapport de l'hydrogéologue agréé – A. Pappalardo rapport 34-96-021 de décembre 1997).

Compte tenu des travaux de forage récemment réalisés, il apparaît clairement que les alluvions et les colluvions récentes sont très peu aquifères, avec des débits n'excédant pas 2 m<sup>3</sup>/h. L'aquifère exploité est producteur au niveau des tufs calcaires.

Il s'agit donc d'un milieu assimilable à un milieu poreux à forte perméabilité qui semble principalement alimenté par les eaux de la Vis.

---

### IV - COMPTE RENDU DES TRAVAUX DE FORAGE

---

#### 4.1. Les moyens mis en œuvre

Les forages d'exploitation ont été réalisés par l'entreprise Sud Forages du 3 au 12 janvier 2006 par temps maussade, parfois pluvieux et particulièrement froid. La méthode utilisée était la suivante :

- **Forage au Marteau Fond de Trou – technique de forage à l'air en circulation inverse avec tubage à l'avancement (SYMMETRIX)**



Les moyens mis en œuvre pour la foration étaient les suivants :

- Foreuse FRASTE FS300,
- Compresseur déporté 21 bars/21m<sup>3</sup> ATLAS COPCO XRHS 385,
- Berce à tiges, unité de cimentation Atlas Copco Craelis Unigrout 200-100-02,
- Outil de forage MFT Ø10", SYMMETRIX couronne Ø425 mm,
- Tiges PSG2 19 : 8 mm avec manchon 219 mm,
- Groupe électrogène SDMO Type 100 KWA avec bac de rétention des hydrocarbures,
- Elevateur manuscopique.

La technique de forage employée par SUD FORAGES utilise un taillant fond de trou monté sur un marteau fond de trou adapté. SYMMETRIX est un système concentrique pour tubage à l'avancement. Il consiste en l'assemblage d'un taillant pilote et d'une couronne qui fore un trou suffisamment grand pour permettre au sabot d'entraîner le tubage à l'avancement. Le taillant utilisé dispose de larges trous de soufflage internes et de cannelures d'évacuation externes. Le taillant annulaire symétrique (aléseur) dispose d'un raccord à baïonnette interne. Le sabot de tubage permet l'entraînement d'un tube de revêtement dit tube technique.

Le principe de la méthode est relativement simple. Il s'agit d'un sabot de tubage soudé au tube technique. Le taillant pilote est le taillant annulaire sont solidaires. Le taillant pilote et le taillant annulaire tournent avec le train de tige tandis que le sabot et le tubage progressent sans rotation.

L'air de soufflage de retour est forcé de remonter le long du tube de revêtement immédiatement après sa sortie du taillant pilote. Il en résulte une vitesse de soufflage élevée et une faible dégradation du forage.



Compresseur



Groupe électrogène

L'équipe de travail était constituée de deux foreurs, deux aides foreurs assurant les postes de travail 12 à 14 h par jour et 4 jours par semaine.

#### 4.2. Suivi des travaux pour la réalisation des forages F3 amont et F4 aval

Les deux forages F3 amont et F4 aval ont été réalisés consécutivement. Les ouvrages ont été implantés suivant les recommandations du Maître d'oeuvre. Les coupes lithologiques et techniques des ouvrages réalisés sont données en suivant.

##### Forage F3 amont (/ TN) (fig.2) :

- ✓ 0 – 0,5 m : terre végétale et limons bruns,
- ✓ 0,5 – 1,5 m : limoneux argileux à quelques graviers peu roulés,
- ✓ 1,5 – 3 m : limoneux brun et éboulis non roulés,
- ✓ 3 – 3,5 m : niveau d'argile grise à gris bleu,
- ✓ 3,5 – 6,1 m : argilo-limoneux gris sans gravier,
- ✓ 6,1 – 10,5 m : graviers roulés dans matrice limono-sableuse,
- ✓ 10,5 – 16 m : tufs calcaires ocres,
- ✓ 16 – 17,5 m : marno-calcaires gris sombres,
- ✓ 17,5 – 19,5 m : calcaires gris sombres.

L'équipement actuel de l'ouvrage est le suivant :

- Profondeur : 19,5 m/sol,
- Tubage acier noir Ø 506/494 mm de +0,5 à – 1,5 m/sol,
- Cimentation en tête jusqu'à -1,5 m et dalle ciment périphérique,
- Tubage acier noir Ø 313/323 mm de +0,5 à – 8 m/sol,
- Cimentation gravitaire de l'espace annulaire de +0,5 à – 8 m/sol,
- Tubage Inox plein 273/4 mm AISI 430, manchonné soudé de +0,5 à -9,5 m/sol,
- Tubage Inox crépiné 273/4 mm AISI 430, manchonné soudé de -9,5 à -15,5 m/sol (pourcentage de vides renseigné 25%),
- Tubage Inox plein 273/4 mm AISI 430, manchonné soudé de -15,5 à -19,5 m/sol,

Les principales venues d'eau ont été relativement faciles à repérer compte tenu de la nature même de l'aquifère reconnu et de la technique de forage employée. Les premières venues d'eau ont été repérées au niveau de la nappe alluviale entre 8 et 9 mètres de profondeur, sans excéder 1 à 2 m<sup>3</sup>/h instantanés. Au sein de l'aquifère des tufs carbonatés, les venues d'eau étaient diffuses entre 10,5 et 16 m, les débits instantanés maximum étant observés entre 13 et 15 m pouvant atteindre quelque 25 à 30 m<sup>3</sup>/h.

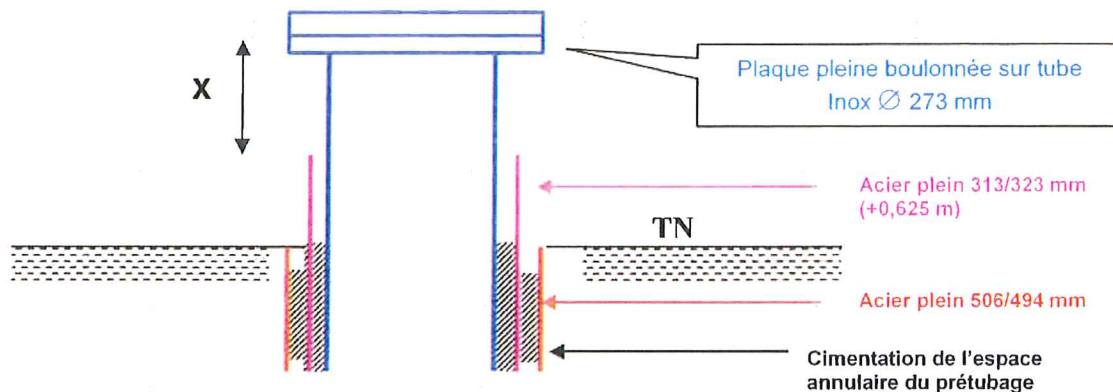
Une cimentation gravitaire de l'espace annulaire du tube technique a été réalisée jusqu'à – 8 m/sol. Une attente de 24 heures a été constatée pour la prise du ciment suivie d'un complément de cimentation < à 50 litres.

L'ouvrage a été équipé de crépines à nervures repoussées préalablement lavées à l'eau claire avant équipement.



La tête de forage est actuellement décrite comme suit :

$X = 0,528 \text{ m}$



La tête de forage mise en place et boulonnée interdit l'accès à l'ouvrage.

#### Nettoyage et développement

Les travaux de nettoyage du forage ont été réalisés par l'entreprise Sud-Forages par soufflage à l'air comprimé, à l'aide d'un compresseur d'une capacité de 21 000 litres. Les opérations de soufflage au dessous des crépines se sont déroulées pendant 8 heures jusqu'à obtention d'une eau parfaitement claire.

Le niveau statique mesuré le 23 janvier 2006 se situait à -331,815 m NGF (cote relative/Vis estimée à 332 m) soit -6,99 m/repère (tube Inox 273 mm).

**Les débits en fin de soufflage étaient estimés variables entre 25 et 30 m<sup>3</sup>/h :**

#### Forage F4 aval (/ TN) (fig.3) :

- ✓ 0 – 1,5 m : limoneux argileux à rares graviers peu roulés,
- ✓ 1,5 – 2,5 m : rares graviers et éboulis dans limons ocres bruns,
- ✓ 2,5 – 3,5 m : limons ocres et passées argileuses grisâtres,
- ✓ 3,5 – 4,5 m : limons ocres légèrement aquifères (< 1,5 m<sup>3</sup>/h),
- ✓ 4,5 – 7,5 m : limons ocres,
- ✓ 7,5 – 14,5 m : tufs calcaires ocres, aquifères (venues d'eau franches à -8 m, -10 à -14 m et à -14,5 m),
- ✓ 14,5 – 19,5 m calcaires gris sombres.

L'équipement actuel de l'ouvrage est le suivant :

- Profondeur : 19,5 m/sol,
- Tubage acier noir Ø 506/494 mm de +0,5 à - 1,5 m/sol,
- Cimentation en tête jusqu'à -1,5 m et dalle ciment périphérique,
- Tubage acier noir Ø 313/323 mm de +0,5 à - 8 m/sol,
- Cimentation gravitaire de l'espace annulaire de +0,5 à - 8 m/sol,
- Tubage Inox plein 273/4 mm AISI 430, manchonné soudé de +0,5 à -9,5 m/sol,



- Tubage Inox crépiné 273/4 mm AISI 430, manchonné soudé de -9,5 à -15,5 m/sol (pourcentage de vides renseigné 25%),
- Tubage Inox plein 273/4 mm AISI 430, manchonné soudé de -15,5 à -19,5 m/sol,

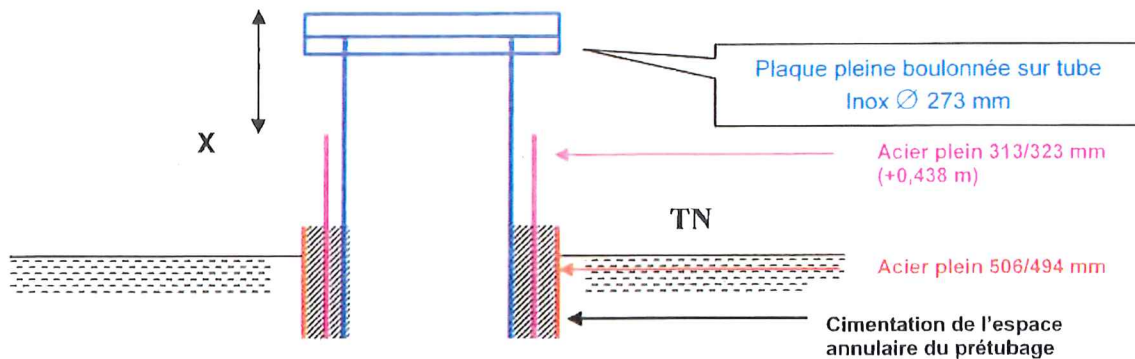
Les principales venues d'eau ont été relativement faciles à repérer compte tenu de la nature même de l'aquifère reconnu et de la technique de forage employée. Les débits instantanés maximum observés lors des opérations de nettoyage pouvaient atteindre quelques 35 m<sup>3</sup>/h.

Une cimentation gravitaire de l'espace annulaire du tube technique a été réalisée jusqu'à - 8 m/sol. Une attente de 24 heures a été constatée pour la prise du ciment suivie d'un complément de cimentation de l'ordre de 20 litres.

L'ouvrage a été équipé de crépines à nervures repoussées préalablement lavées à l'eau claire avant équipement.

La tête de forage est actuellement décrite comme suit :

$X = 0,405 \text{ m}$



La tête de forage mise en place et boulonnée interdit l'accès à l'ouvrage.

#### Nettoyage et développement

Les travaux de nettoyage du forage ont été réalisés par l'entreprise Sud-Forages par soufflage à l'air comprimé, à l'aide d'un compresseur d'une capacité de 21 000 litres. Les opérations de soufflage au dessous des crépines se sont déroulées pendant 8 heures jusqu'à obtention d'une eau parfaitement claire.

Le niveau statique mesuré le 23 janvier 2006 se situait à -331,61 m NGF (cote relative/Vis estimée à 332 m) soit -6,76 m/repère (tube Inox 273 mm).

**Les débits en fin de soufflage étaient estimés variables entre 25 et 35 m<sup>3</sup>/h :**

---

## V - COMPTE RENDU DES POMPAGES D'ESSAI

---

### Rappels sur les conditions de base nécessaires à la réalisation de ce type de pompages d'essai :

« L'essai de puits par paliers de débits de courtes durées évalue les caractéristiques du complexe aquifère/ouvrage du captage. Les conditions de base d'application des expressions de l'hydrodynamique souterraine en régime transitoire, auxquelles doit satisfaire le complexe aquifère/ouvrage de captage sont (G. Castany) » :

- validité de la Loi de DARCY : écoulement laminaire et milieu isotrope ou homogène,
- ouvrage correctement équipé et développé (*condition validée*),
- surface piézométrique au repos (*condition validée*),
- débit de pompage constant (*condition validée*),
- rayon de l'ouvrage le plus petit possible.

#### 5.1. Les moyens mis en oeuvre

Les moyens mis en oeuvre par l'Entreprise Sud-Forages mandatée pour équiper provisoirement les forages F3 amont et F4 aval pour la réalisation des pompages d'essai par paliers et de longue durée étaient les suivants :

- pompes immergées – marque : GRUNDFOS SP 46-7 – 6" Inox posées à -17 m ;
- Débitmètre électromagnétique DN 100 mm –  $Q_n = 50 \text{ m}^3/\text{h}$  – 16 bars ;
- Vanne de réglage des débits d'exhaure à opercule DN 100 mm ;
- Conduite de refoulement souple DN 80 mm pour environ 80 ml rejet dans la Vis en aval des points de captage.

Les mesures des niveaux dynamiques ont été effectuées à l'aide d'une sonde électrique d'une longueur max = 250 mètres équipée d'un voyant lumineux et alarme sonore.

Les mesures de conductivité, température et pH des eaux ont été réalisées à l'aide d'une sonde multiliné F/SET – 3 distribuée par WTW. Les relevés ont été réalisés directement en tête de forages au niveau du robinet de prélèvement.

Pour valider les données du comptage, les débits mesurés au compteur ont été initialement vérifiés par des mesures ponctuelles par empotage réalisées à l'aide d'un récipient de capacité adaptée (206 litres).

Les opérations de pompages ont consisté en la réalisation de quatre paliers de débits, de courte durée (1H00), non enchaînés et croissants, suivis d'une période d'arrêt avant pompage de longue durée pour la reprise des niveaux statiques. L'expérimentation s'est déroulée au cours de la semaine 4, du 23 au 27 janvier 2006.

## 5.2. Résultats des pompages d'essai par paliers de débits sur le forage F3 Amont

### Calcul du débit critique et du débit d'exploitation (fig.4, 5 et 6)

Au démarrage des pompages par paliers le niveau statique était mesuré = -6,99 m/repère.

Cinq paliers non enchaînés ont été réalisés à différents débits :

- ✓  $Q_1 = 14 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- ✓  $Q_2 = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- ✓  $Q_3 = 44 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- ✓  $Q_4 = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- ✓  $Q_5 = 68 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Chaque palier de débits a été mené jusqu'à obtention d'une pseudo-stabilisation des niveaux dynamiques et/ou sur une durée totale de 60 minutes et d'une eau parfaitement claire.

Compte tenu des installations en place, nous n'avons pas pu diminuer le débit au démarrage de la pompe en deçà de  $14 \text{ m}^3/\text{h}$ . De même, le débit maximal des équipements en place pour la réalisation des essais était limité à environ  $68 \text{ m}^3/\text{h}$ .

La courbe caractéristique a été tracée à partir des rabattements mesurés pour les différents paliers de débits. Il apparaît clairement qu'aucun point d'inflexion n'a été repéré aux débits utilisés.

### Calcul des pertes de charges

Le rabattement total (s) à l'instant (t) est ainsi donné par l'expression de C.E. JACOB (1946) et peut s'écrire  $s = BQ + CQ^2$  avec :

- \* BQ qui sont les pertes de charge linéaires résultant de l'effet de l'influence de l'aquifère. Les pertes de charge linéaires croît avec le temps de pompage au voisinage du forage.
- \*  $CQ^2$  représentant les pertes de charge quadratiques qui caractérisent les difficultés de l'eau à entrer dans l'ouvrage.

Cette expression est souvent la plus utilisée. Elle est établie pour l'aquifère à nappe captive étendue à l'aquifère à nappe libre sous certaines conditions et notamment que le rabattement mesuré soit inférieur à 10 % de la puissance de l'aquifère.

La résolution graphique de l'expression de C.E. JACOB permet de déduire (fig.5 et 6) :

$$s = 3,23.10^{-3} Q + 2.10^{-5} Q^2$$

C'est l'équation d'une droite représentative permettant de déduire les pertes de charge par la détermination des coefficients B et C.

Le rabattement maximum admissible n'a pas pu être vérifié. Si l'on se base sur 10 % de la puissance estimée de l'aquifère exploité, ce rabattement pourrait être estimé de l'ordre de 0,55 mètres. Le débit d'exploitation correspondant est très largement supérieur à  $70 \text{ m}^3/\text{h}$ .



Pour un débit d'exploitation de l'ordre de 60 m<sup>3</sup>/h, les pertes de charges quadratiques restent relativement faible (env. 27%) dans les rabattements observables.

Pour un débit de 50 m<sup>3</sup>/h, on obtient un rabattement théorique de :

$$s = 0,1615 + 0,05 = 0,2115 \text{ m}$$

Compte tenu de la courbe caractéristique tracée au 23/01/2006 le débit d'exploitation souhaité de 50 m<sup>3</sup>/h engendre un rabattement prévisible de l'ordre de 0,21 m. Sur des périodes de pompage adaptées pouvant atteindre 20 heures de pompage journalier soit 1000 m<sup>3</sup>/j, on estime raisonnablement le rabattement prévisible inférieur à 25 cm.

#### Calcul du débit spécifique

Le débit spécifique d'un ouvrage, nommé Qs, est le débit pompé rapporté au rabattement mesuré dans l'ouvrage. Dans les conditions d'exploitation recommandées on obtient :

$$Q_s = Q / s = 50 / 0,21 = 238 \text{ m}^3 / \text{h.m}$$

Le tableau suivant permet de visualiser les débits spécifiques calculés aux différents paliers de débits réalisés :

Paliers de débits en m <sup>3</sup> /h	Rabattements stabilisés en m	Débits spécifiques en m <sup>3</sup> /h.m
14	0,05	280,00
30	0,113	265,49
44	0,18	244,44
60	0,265	226,42
68	0,3	226,67

#### Evolution des rabattements résiduels dans l'ouvrage

A chaque palier de débit entrepris correspondait l'arrêt du pompage d'une durée égale à celle du palier de débits. Le tableau suivant permet de visualiser l'évolution des rabattements résiduels mesurés :

Paliers de débits en m <sup>3</sup> /h	Rabattements stabilisés en m	Rabattements résiduels en m
14	0,1	0,01
30	0,162	0,01
44	0,218	0,02
60	0,287	0,02
68	0,3	0,02

On notera que les rabattements restent relativement faibles après 1 heure de pompage à débit constant et 1 heure d'arrêt. De toute évidence, le relevé des rabattements résiduels très proche du niveau statique témoigne des capacités de l'aquifère aux débits testés.

**Evolution de la conductivité et de la température pendant les pompages par paliers**

Palier	Tps (min)	T°eau	T°air	Conductivité
P1	5	10,2	0,5	385
	52	10,8	3,5	382
P2	136	10,2	2,6	383
	167	10,4	3,3	383
P3	266	10,4	3,1	381
	302	10	2,4	382
P4	383	10,4	1,4	385
	420	10	0,8	382
P5	503	9,5	-1,7	383
	540	9,7	-1,8	383

*Récapitulatif du suivi de la conductivité et de la température sur le forage F3 Amont*

Palier	Tps (min)	T°eau	T°air	Conductivité
Avant pompage		10,3	0,8	371
	86	10,5	3,4	372
	143	10,5	2,6	372
	262	10,2	4,1	370
	387	10,4	1,4	370
	473	10	0,6	370

*Récapitulatif du suivi de la conductivité et de la température sur la Vis*

Au cours des pompages d'essai par paliers entrepris sur le forage F3 amont, la conductivité des eaux d'exhaure s'établit autour de 383  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sans variations significative et proche de la conductivité des eaux de la Vis (371  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Les eaux de la nappe exploitée sont donc moyennement minéralisées, tout à fait comparables aux eaux de la Vis sur ce paramètre.

La température des eaux d'exhaure est presque stable autour de 10,3°C (température de l'air évoluant de -1,8 à 3,3°C).

### **5.3. Résultats des pompages d'essai par paliers de débits sur le forage F4 Aval**

**Calcul du débit critique et du débit d'exploitation (fig.7, 8 et 9)**

Au démarrage des pompages par paliers le niveau statique était mesuré = -6,66 m/repère.

Quatre paliers non enchaînés ont été réalisés à différents débits :

- ✓  $Q_1 = 14 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- ✓  $Q_2 = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- ✓  $Q_3 = 44 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- ✓  $Q_4 = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ ,

Chaque palier de débits a été mené jusqu'à obtention d'une pseudo-stabilisation des niveaux dynamiques et/ou sur une durée totale de 60 minutes et d'une eau parfaitement claire.

**Compte tenu des installations en place, nous n'avons pas pu diminuer le débit au démarrage de la pompe en deçà de 14 m<sup>3</sup>/h. De même, le débit maximal des équipements en place pour la réalisation des essais était limité à environ 60 m<sup>3</sup>/h.**

La courbe caractéristique a été tracée à partir des rabattements mesurés pour les différents paliers de débits. Il apparaît clairement qu'aucun point d'inflexion n'a été repéré aux débits utilisés.

### **Calcul des pertes de charges**

Le rabattement total (s) à l'instant (t) est ainsi donné par l'expression de C.E. JACOB (1946) et peut s'écrire  $s = BQ + CQ^2$  avec :

- ✕ BQ qui sont les pertes de charge linéaires résultant de l'effet de l'influence de l'aquifère. Les pertes de charge linéaires croît avec le temps de pompage au voisinage du forage.
- ✕  $CQ^2$  représentant les pertes de charge quadratiques qui caractérisent les difficultés de l'eau à entrer dans l'ouvrage.

Cette expression est souvent la plus utilisée. Elle est établie pour l'aquifère à nappe captive étendue à l'aquifère à nappe libre sous certaines conditions et notamment que le rabattement mesuré soit inférieur à 10 % de la puissance de l'aquifère.

La résolution graphique de l'expression de C.E. JACOB permet de déduire (fig.8 et 9) :

$$s = 3,4.10^{-3} Q + 1.10^{-5} Q^2$$

**C'est l'équation d'une droite représentative permettant de déduire les pertes de charge par la détermination des coefficients B et C.**

Le rabattement maximum admissible n'a pas pu être vérifié. Si l'on se base sur 10 % de la puissance de l'aquifère exploité, ce rabattement pourrait être estimé de l'ordre de 0,7 mètres. Le débit d'exploitation correspondant est très largement supérieur à 70 m<sup>3</sup>/h.

**Pour un débit d'exploitation de l'ordre de 60 m<sup>3</sup>/h, les pertes de charges quadratiques restent relativement faible (env. 20%) dans les rabattements observables.**

Pour un débit de 50 m<sup>3</sup>/h, on obtient un rabattement théorique de :

$$s = 0,17 + 0,03 = 0,20 \text{ m}$$

**Compte tenu de la courbe caractéristique tracée au 26/01/2006 le débit d'exploitation souhaité de 50 m<sup>3</sup>/h engendre un rabattement prévisible de l'ordre de 0,20 m. Sur des périodes de pompage adaptées pouvant atteindre 20 heures de pompage journalier soit 1000 m<sup>3</sup>/j, on estime raisonnablement le rabattement prévisible inférieur à 25 cm.**



### Calcul du débit spécifique

Le débit spécifique d'un ouvrage, nommé  $Q_s$ , est le débit pompé rapporté au rabattement mesuré dans l'ouvrage. Dans les conditions d'exploitation recommandées on obtient :

$$Q_s = Q / s = 50 / 0,20 = 250 \text{ m}^3 / \text{h.m}$$

Le tableau suivant permet de visualiser les débits spécifiques calculés aux différents paliers de débits réalisés :

Paliers de débits en m <sup>3</sup> /h	Rabattelements stabilisés en m	Débits spécifiques en m <sup>3</sup> /h.m
14	0,05	280
30	0,112	267,86
44	0,168	261,9
60	0,237	253,16

On notera que les débits spécifiques calculés sur le forage F4 aval sont supérieurs à ceux calculés sur le forage F3 amont.

### Evolution des rabattements résiduels dans l'ouvrage

A chaque palier de débit entrepris correspondait l'arrêt du pompage d'une durée égale à celle du palier de débits. Le tableau suivant permet de visualiser l'évolution des rabattements résiduels mesurés :

Paliers de débits en m <sup>3</sup> /h	Rabattelements stabilisés en m	Rabattelements résiduels en m
14	0,1	-0,005
30	0,162	0,006
44	0,218	0,002
60	0,287	-0,018

On notera que les rabattements restent relativement faibles après 1 heure de pompage à débit constant et 1 heure d'arrêt. De toute évidence, le relevé des rabattements résiduels au-dessus du niveau statique initial va dans le sens d'un développement du nouveau forage F4 aval.

### Evolution de la conductivité et de la température pendant les pompages par paliers

Palier	Tps (min)	T°eau	T°air	Conductivité
P1	6	10,3	1	380
	57	10,4	2,3	381
P2	130	10,3	2,8	379
	176	10,6	3	380
P3	243,35	10,5	3,4	381
	295	10,8	4,5	380
P4	365	10,4	2,8	380
	411	10,5	1,5	379

*Récapitulatif du suivi de la conductivité et de la température sur le forage F4 aval*

Palier	Tps (min)	T°eau	T°air	Conductivité
P1	10	10,9	4,9	362
P2	135	10,1	3,9	360
P3	251	10,9	2,9	360
P4	381	10,2	2,1	361

*Récapitulatif du suivi de la conductivité et de la température sur la Vis*

Au cours des pompages d'essai par paliers entrepris sur le forage F4 aval, la conductivité des eaux d'exhaure s'établit autour de 380  $\mu\text{S/cm}$  sans variations significative et proche de la conductivité des eaux de la Vis. Les eaux de la nappe exploitée sont donc moyennement minéralisées et comparables à celles de la Vis sur ce paramètre.

La température des eaux d'exhaure est presque stable autour de 10,5°C (température de l'air évoluant de 1 à 4,5 °C).

#### 5.4. Résultats des pompages d'essai de longue durée

Le pompage de longue durée a été réalisé sur le forage F3 Amont du 23/01/2006 au soir au 25/01/2006 au soir à l'aide des équipements en place utilisés pour la réalisation des pompages par paliers.

Les principales données du pompage sont les suivantes :

- niveau statique = 7,01 m/niveau repère ;
- débit d'exhaure = 50  $\text{m}^3/\text{h}$  ou 0,01389  $\text{m}^3/\text{h}$  ;
- durée du pompage = 2514 minutes ou environ 42 heures ;
- niveau dynamique mesuré après 42 heures de pompage = 7,27 m/niveau repère soit un rabattement = 0,26 m/NS.

Les **figures 10 et 11** permettent de visualiser la descente des niveaux dynamiques au cours du pompage de longue durée (échelle linéaire et semi-logarithmique).

L'incidence du pompage de longue durée a été suivie sur le nouveau forage F4 Aval, le forage F2 nommé P2 et le forage F1 nommé P1. Pendant toute la durée des essais nous avons également suivi en relatif le niveau de base de la Vis en amont et en aval du couple de forage F3 amont / F4 aval.

#### Interprétation du pompage de longue durée sur le forage F3 Amont

Le débit d'exhaure est resté parfaitement stable au cours du pompage de longue durée (50  $\text{m}^3/\text{h}$ ).

Sur la courbe en semi-log des rabattements dans le nouveau forage en fonction du temps, il apparaît :

- une pseudo-stabilisation de la courbe entre 0' et 555' environ de pompage proche de 0,26 m de rabattement marquant la forme d'un pseudo-palier.
- Suivie d'une courbe en descente brusque entre 550' et 2270' de pompage.
- Poursuivie de l'amorce d'une nouvelle stabilisation entre 2270 et 2514'.



L'interprétation de la courbe doit directement être rapprochée du contexte géologique et hydrogéologique des nouveaux forages à proximité de la Vis. Jusqu'à environ 250' de pompage la Vis accuse des variations de niveaux de l'ordre de 2 cm d'amplitude qui ne semblent pas induire d'effet immédiat sur l'aquifère exploité (**fig. 12**). Au-delà, la décrue de la Vis portant l'amplitude des niveaux jusqu'à 7 cm a un effet beaucoup plus marqué sur la nappe en cours de pompage d'essai.

Il apparaît judicieux de calculer la transmissivité de l'aquifère sur la première partie de la courbe, la moins influencée par la décrue de la Vis et les lâchés de barrage.

L'interprétation de l'essai de pompage de longue durée a été réalisée manuellement en utilisant le schéma de Théis. **L'observation de la courbe de descente des niveaux dynamiques permet de calculer une transmissivité T1 de l'ordre de  $2,54.10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$  sur la première partie de courbe avant 550'. Cette valeur de la transmissivité peut être interprétée en tenant compte du type d'aquifère sollicité caractérisé comme une nappe libre fortement influencée par le milieu superficiel (la Vis).**

Compte tenu des débits nécessaires à l'alimentation en eau du SIVOM du Larzac (50  $\text{m}^3/\text{h}$  ou 1000  $\text{m}^3/\text{j}$  max.), tout porte à croire que les temps de pompage en exploitation n'excéderont pas 1200 minutes avec un rabattement dans l'ouvrage de l'ordre de 25 cm.

**La remontée des niveaux dynamiques après pompage de longue durée laisse espérer que l'on puisse retrouver le niveau statique initial après environ 500 minutes de repos ou près de 8 heures (données acquises après pompage de longue durée).**

Ainsi, le prélèvement en pompage à 50  $\text{m}^3/\text{h}$  pendant 1200 minutes induirait un rabattement résiduel inférieur à 5 cm en fin de journée.

#### Interprétation du pompage de longue durée sur les piézomètres de contrôle.

Les courbes de suivis des niveaux dynamiques sur les piézomètres P1, P2 et F4 aval se comportent globalement de la même façon.

Le niveau statique mesuré le 23 janvier 2006 se situait :

- Piézomètre P2 : Le niveau statique mesuré le 23 janvier 2006 se situait à 331,74 m NGF (cote relative/Vis estimée à 332 m) soit -6,365 m/repère
- Piézomètre P1 : Le niveau statique mesuré le 23 janvier 2006 se situait à 331,74 m NGF (cote relative/Vis estimée à 332 m) soit -7,41 m/repère

De prime abord, l'observation des courbes (**fig. 13 et 14**) marque un aquifère mal réalimenté. Cependant il convient de replacer cette observation suivant l'amplitude des courbes (de l'ordre de 6 cm, parfaitement comparable avec les variations du niveau de la Vis suivies en amont et en aval des nouveaux forages). En l'état actuel, ces courbes sont difficilement interprétables compte tenu de la double influence notable sur les piézomètres à savoir : les pompages d'essai menés sur F3 amont, les variations du niveau de la Vis (décrue, lâchés de barrage). Dans ces conditions, nous ne nous aventurerons pas à calculer un coefficient d'emmagasinement (S) qui serait sans doute pure extrapolation théorique.



Si l'on devait quand même avancer une interprétation de l'essai de pompage à partir du forage F4 aval servant ici comme piézomètre de contrôle, nous proposerions de lisser la première partie de courbe permettant ainsi de calculer une transmissivité de l'ordre de  $1,74.10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ . On notera d'ailleurs que les pompages d'essai réalisés au cours de la période d'étiage 2005 sur le forage F2 (P2) avaient permis de calculer  $T = 1,53.10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$  et un rabattement sur le forage testé de 27 cm.

#### **Calcul de la perméabilité de l'aquifère**

A partir de la transmissivité calculée sur le nouveau forage, il est possible d'approcher globalement la perméabilité de l'aquifère :

$T = K \times b$  avec  $b$  = épaisseur supposée de l'aquifère  $\approx 6 \text{ m}$

$$\text{D'où } K = 2,9.10^{-2} \text{ m/s}$$

La perméabilité calculée caractérise une formation très perméable conforme aux résultats escomptés sur ce type d'aquifère.

---

## **VI- QUALITE DES EAUX D'EXHAURE**

---

**Un prélèvement pour analyse de première adduction a été réalisé sur le forage F3 amont avec complément d'analyse sur le forage F4 aval. Les analyses étant en cours, les résultats ne nous ont pas été communiqués.**

Pendant toute la durée des pompages d'essai, nous avons pu constater une eau parfaitement claire, sans odeur ni saveur particulière.

Le suivi de la conductivité des eaux d'exhaure et de la Vis pendant les pompages d'essai ont permis de constater :

- une conductivité stable sur l'aquifère proche de  $383 \mu\text{S}/\text{cm}$  ;
- une conductivité également relativement stable sur la Vis à  $371 \mu\text{S}/\text{cm}$  ;
- une température des eaux proche de  $10^\circ\text{C}$  sur les eaux d'exhaure comme sur la Vis.

---

## **VII - CONCLUSIONS**

---

Les forages d'exploitation F3 Amont et F4 Aval implantés par les soins du maître d'œuvre se sont révélés positifs. Ces ouvrages destinés à être exploités en alternance et secours mutuel captent l'aquifère des tufs quaternaires reconnus sur le forage de reconnaissance F2. Les opérations de pompages d'essai laissent escompter la possibilité d'exploiter les nouveaux forages à  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  durant 20 heures par jour en alternance.

L'interprétation des pompages d'essai s'est vue compliquée par :

- la décrue de la Vis suite aux averses neigeuses et pluvieuses,
- les lâchés de barrage réalisés sur le cours d'eau.

L'interprétation des courbes de pompages permet de calculer une transmissivité de l'ordre de  $1,74.10^{-1}$  m<sup>2</sup>/s comparable à la transmissivité calculée au cours des pompages d'essai réalisés en période d'étiage 2005. Au cours des pompages de longue durée, les rabattements mesurés dans l'ouvrage F3 Amont (25 cm) sont également comparables aux rabattements maxima mesurés en période d'étiage (27 cm) pour une exploitation à 50 m<sup>3</sup>/h durant 20 heures. L'aquifère semble se comporter comme une nappe libre fortement influencée par la rivière Vis.

Be.ME.A. *Ingénieurs Conseils*, le 14 Février 2006

Laurent SANTAMARIA  
*Hydrogéologue*

# DEPARTEMENT DE L'HERAULT

## SIVOM DU LARZAC

### COMPTE RENDU DES TRAVAUX DE FORAGE D'EXPLOITATION DE NAVACELLES

#### PIECES GRAPHIQUES

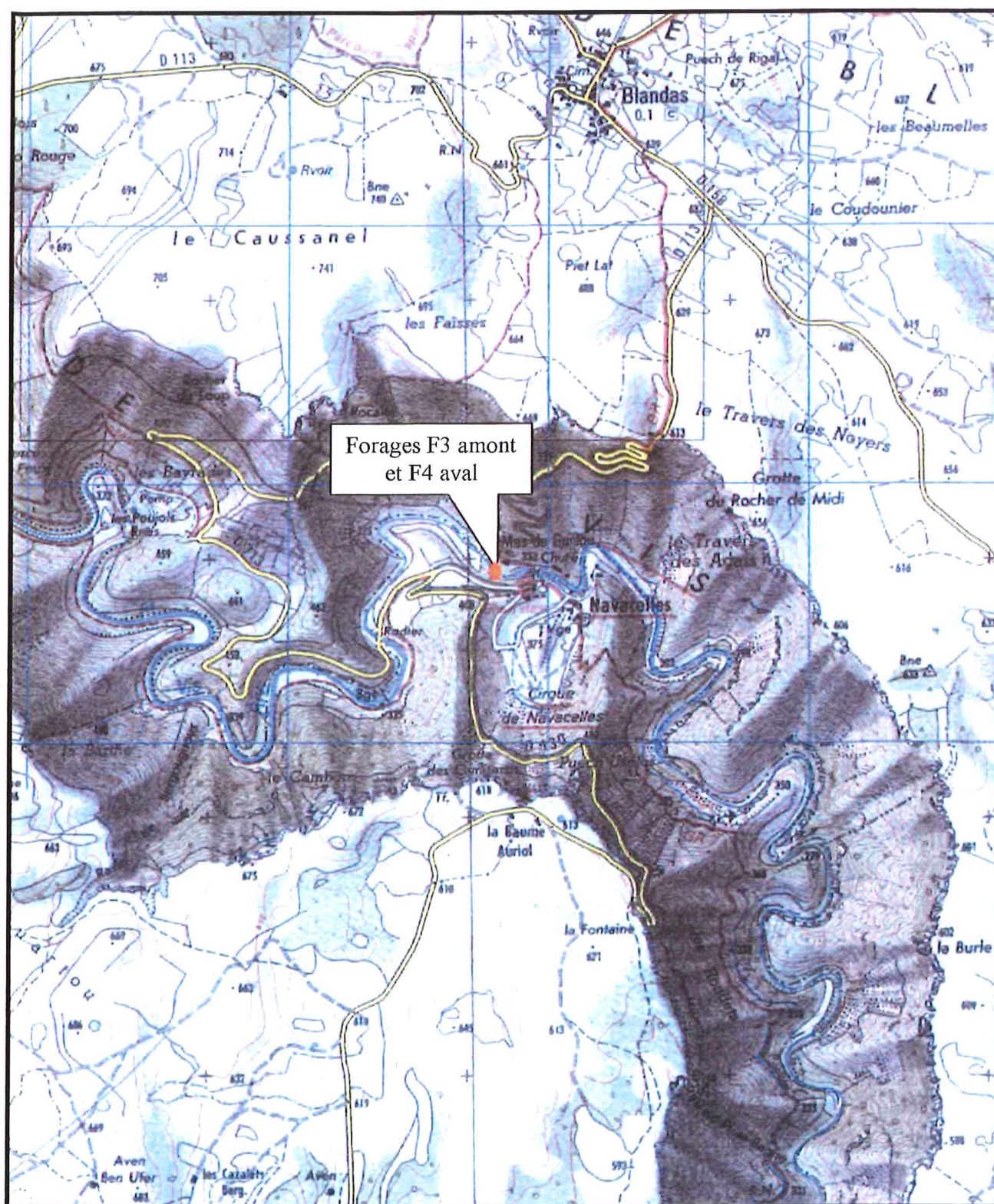
- Figure 1 :** Situation géographique des travaux de forages Extrait des fonds topographiques de l'IGN. Echelle graphique.
- Figure 2 :** Coupe lithologique et technique du forage F3 Amont.
- Figure 3 :** Coupe lithologique et technique du forage F4 Aval.
- Figure 4 :** Pompages d'essai par paliers de débits sur le forage F3 Amont.
- Figure 5 :** Courbe caractéristique du forage F3 Amont.
- Figure 6 :** Droite débit / rabattement spécifiques du forage F3 Amont.
- Figure 7 :** Pompages d'essai par paliers de débits sur le forage F4 Aval.
- Figure 8 :** Courbe caractéristique du forage F4 Aval.
- Figure 9 :** Droite débit / rabattement spécifiques du forage F4 Aval.
- Figure 10 :** Pompages d'essai de longue durée sur F3 Amont (Echelle linéaire).
- Figure 11 :** Pompages d'essai de longue durée sur F3 Amont (Echelle semi-logarithmique).
- Figure 12 :** Suivi des variations des niveaux de la Vis au cours des pompages d'essai de longue durée sur F3 Amont (Echelle linéaire).
- Figure 13 :** Suivi des niveaux dynamiques des piézomètres de contrôle (Echelle linéaire).
- Figure 14 :** Suivi des niveaux dynamiques des piézomètres de contrôle (Echelle semi-logarithmique).



**B<sub>e</sub>.M.E.A.**

Bureau d'études Méditerranéen pour l'Eau  
et l'Assainissement  
Mas Caussignac  
1140, Avenue des Moulins  
34080 MONTPELLIER  
Tél : 04 67 04 56 83  
Fax : 04 67 04 54 23  
Site : [www.bemea.net](http://www.bemea.net)





Copyright IGN - Projection Lambert II étendu / NTF

500 m

Compte rendu des travaux de forage.  
SIVOM DU LARZAC. Commune de Navacelles

Affaire n° NAV/AEP01

Figure n°1 : Localisation géographique



Étape : Rapport final

Echelle : graphique

Date : 14/02/06

Dressé par : BG-LS



**FIGURE 2 : COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE DU FORAGE F3 AMONT**

N° : **F3 AMONT**

Client : **SIVOM DU LARZAC**

Lieu-dit : **NAVACELLES**

Commune : **ST-MAURICE de NAVACELLES**

Département : **Hérault (34)**

Forage : **F3 Amont**

Entreprise : **SUD FORAGES**

Date des travaux : **Janvier 2006**

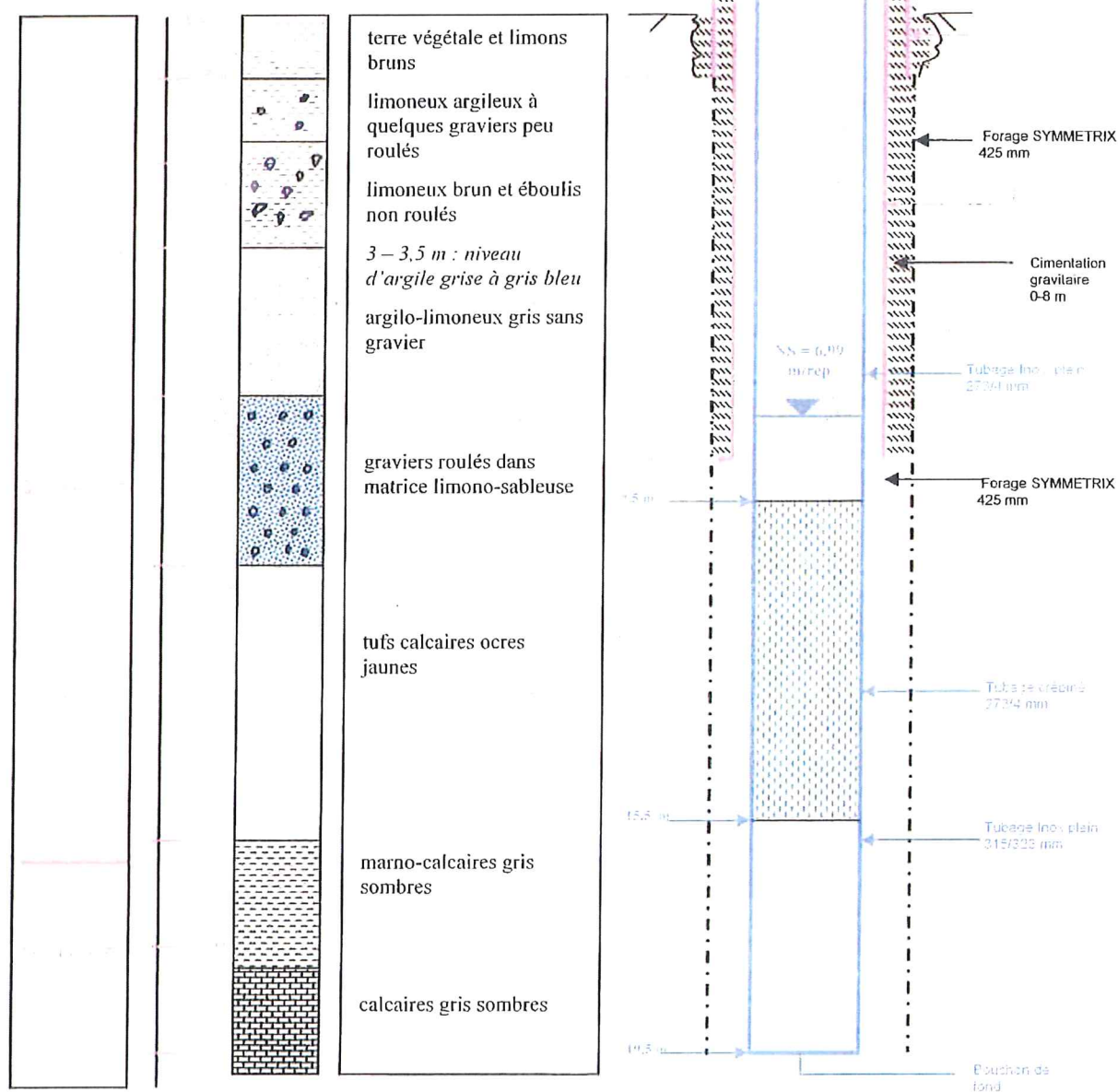
Date de mise en service :



Stratigraphie

Coupe lithologique

Coupe technique



**Observations:**

Coordonnées Lambert III: X = 694.062 Y = 3177.971 Z = 339 m  
Niveau statique: - 6,99 m/repère le 23/01/2006  
Développement : 8 heures de soufflage à l'air comprimé.

Méthode de forage : Foration MFT à l'air- technique de tubage à l'avancement en circulation inverse (technique SYMMETRIX)

**FIGURE 2 : COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE DU FORAGE F4 AVAL**

N° : **F4 AVAL**

Client : **SIVOM DU LARZAC**

Lieu-dit : **NAVACELLES**

Commune : **ST-MAURICE de NAVACELLES**

Département : **Hérault (34)**

Forage : **F4 Aval**

Entreprise : **SUD FORAGES**

Date des travaux : **Janvier 2006**

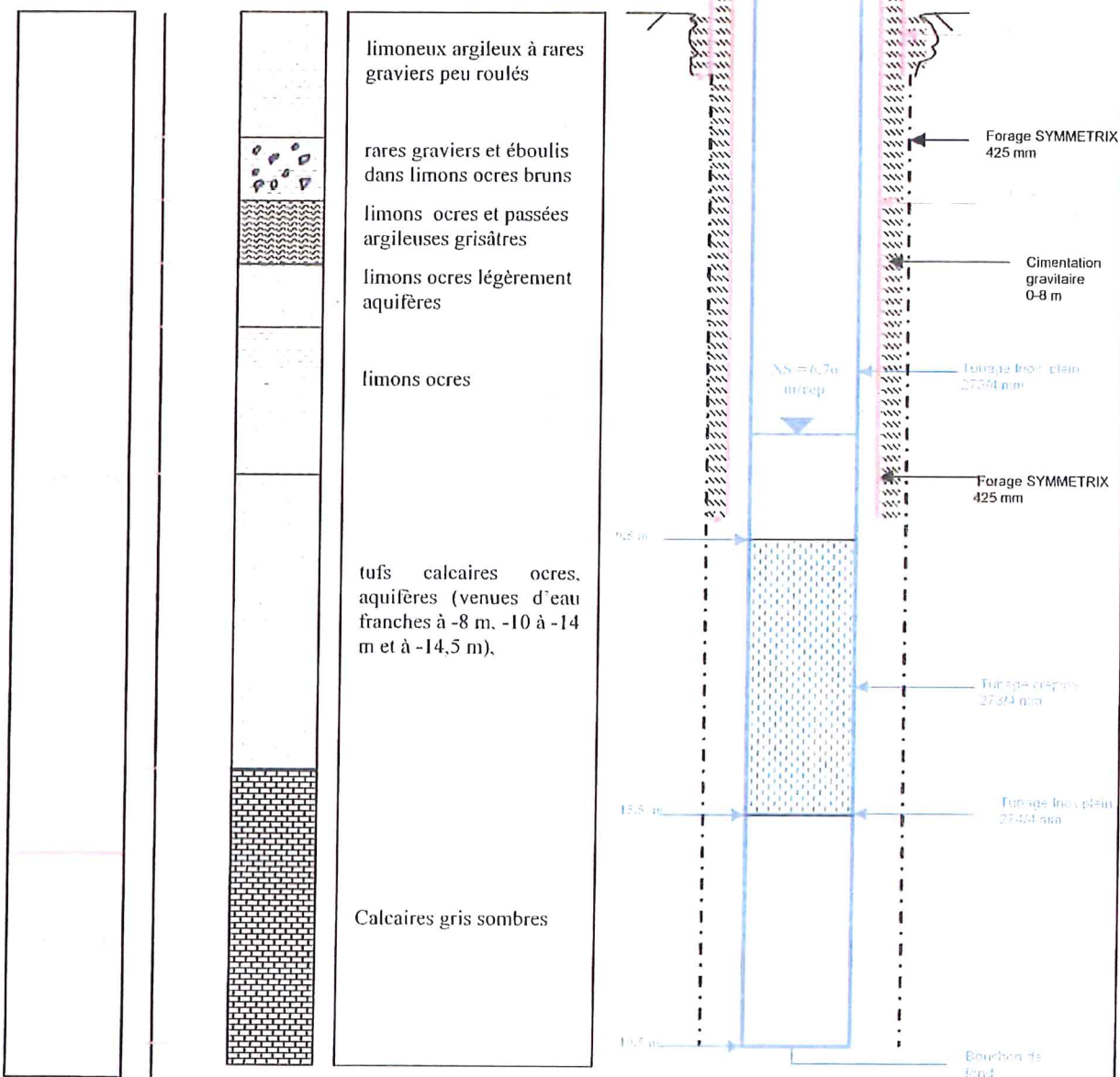
Date de mise en service :



Stratigraphie

Coupe lithologique

Coupe technique



**Observations:**

Coordonnées Lambert III, X = 694.064 Y = 3177.968 Z = 339 m

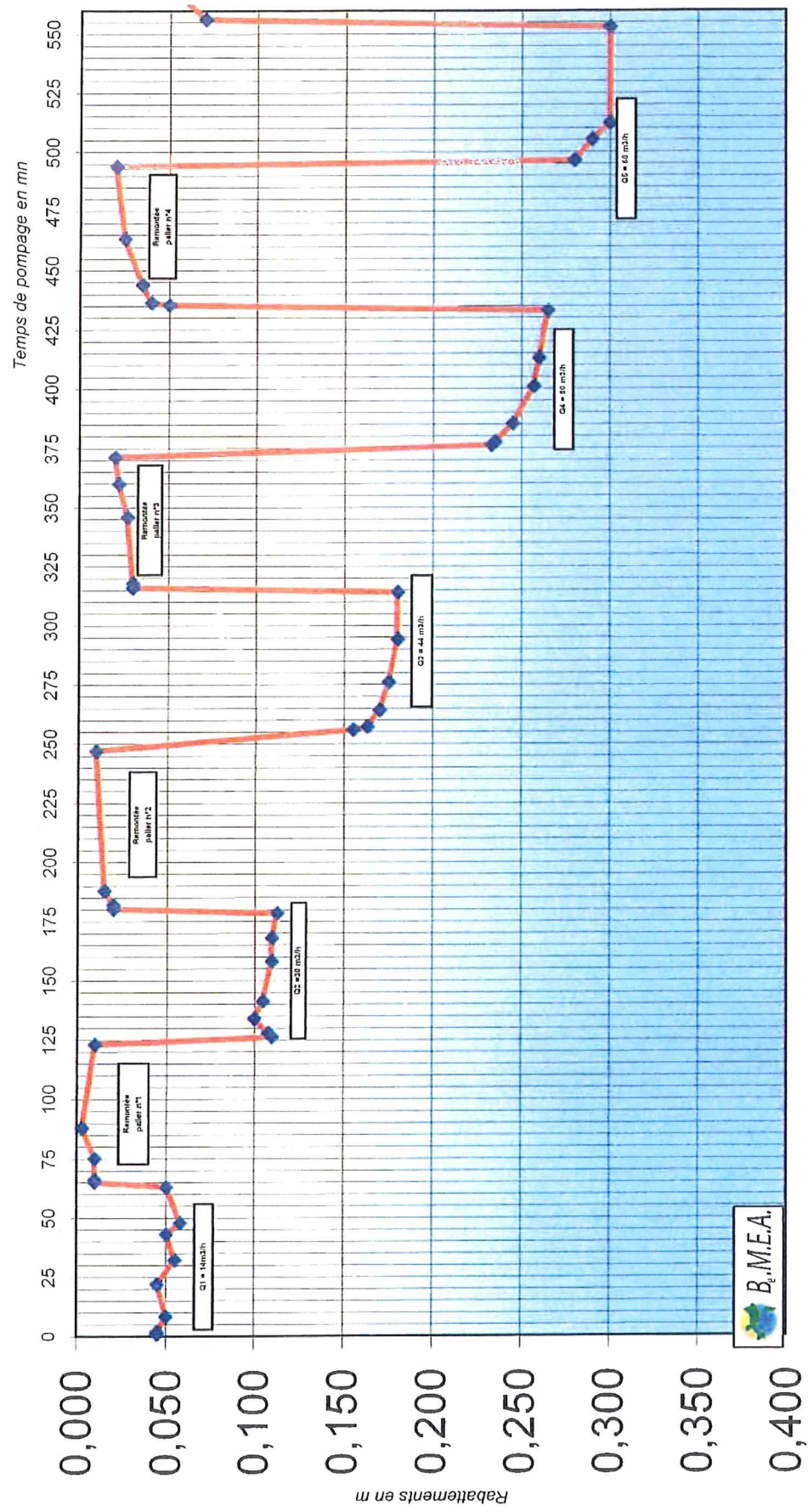
Niveau statique : - 6,76 m/rep le 23/01/2006

Développement : 8 heures de soufflage à l'air comprimé.

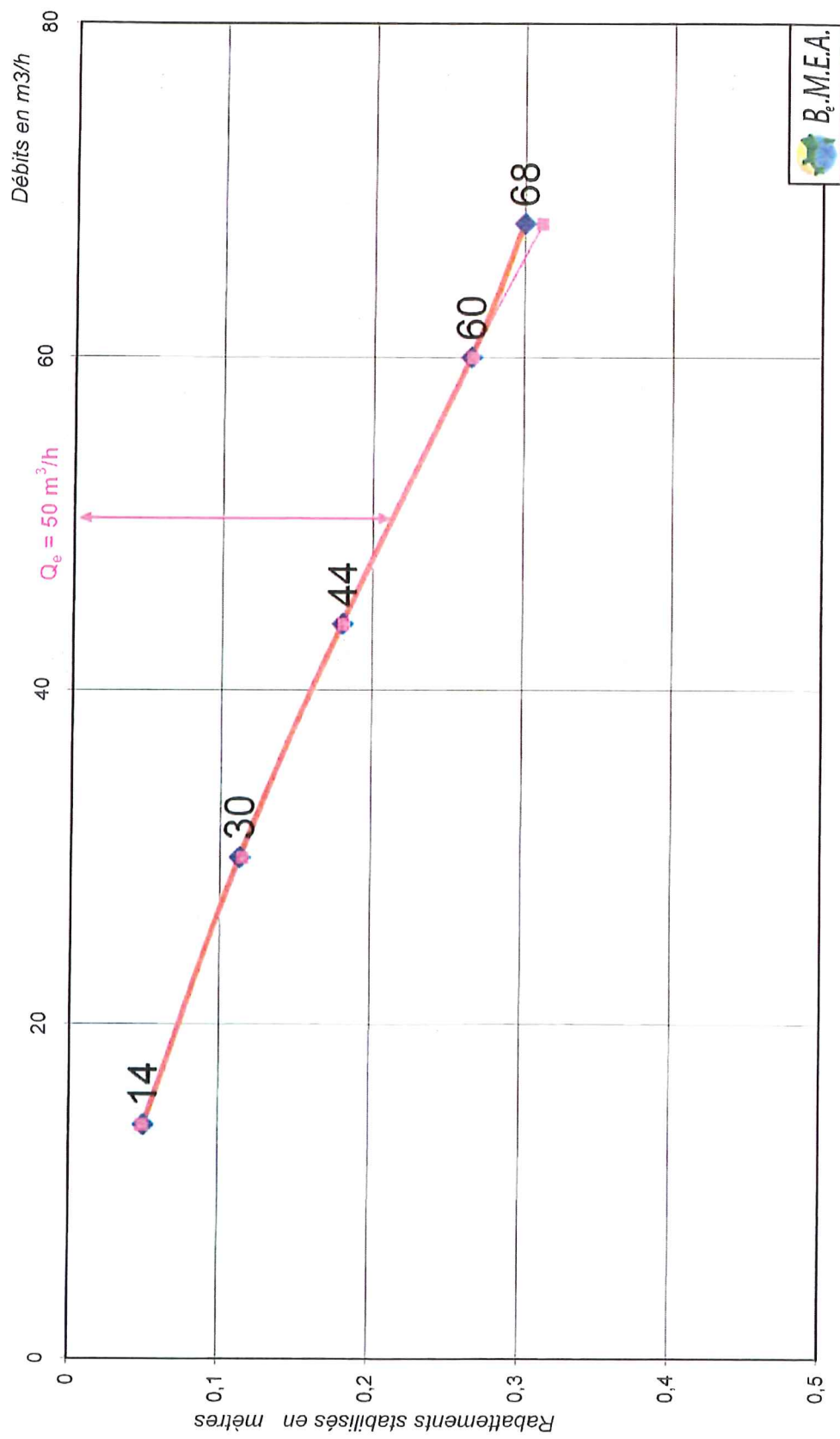
Méthode de forage : Foration MFT à l'air- technique de tubage à l'avancement en circulation inverse (technique SYMMETRIX)



Figure 4 : ESSAI DE PUIITS PAR PALIERS  
DE DEBITS CROISSANTS SUR F3 AMONT



**Figure 5 : COURBE CARACTERISTIQUE DU FORAGE  
F3 AMONT DE NAVACELLES FIN JANVIER 2006**



**Figure 6 : DROITE DEBITS / RABATTEMENTS SPECIFIQUES  
SUR F3 AMONT**

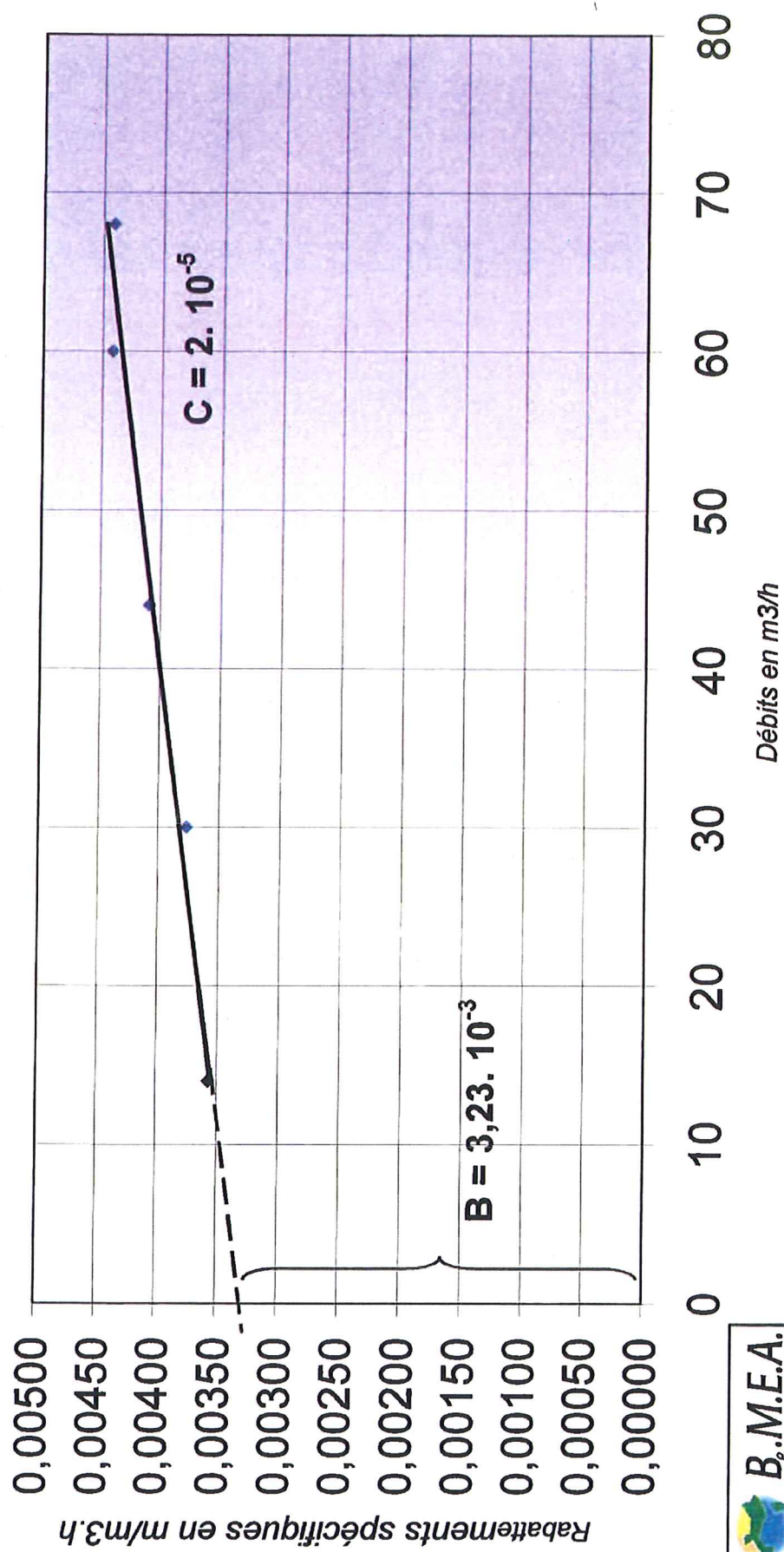
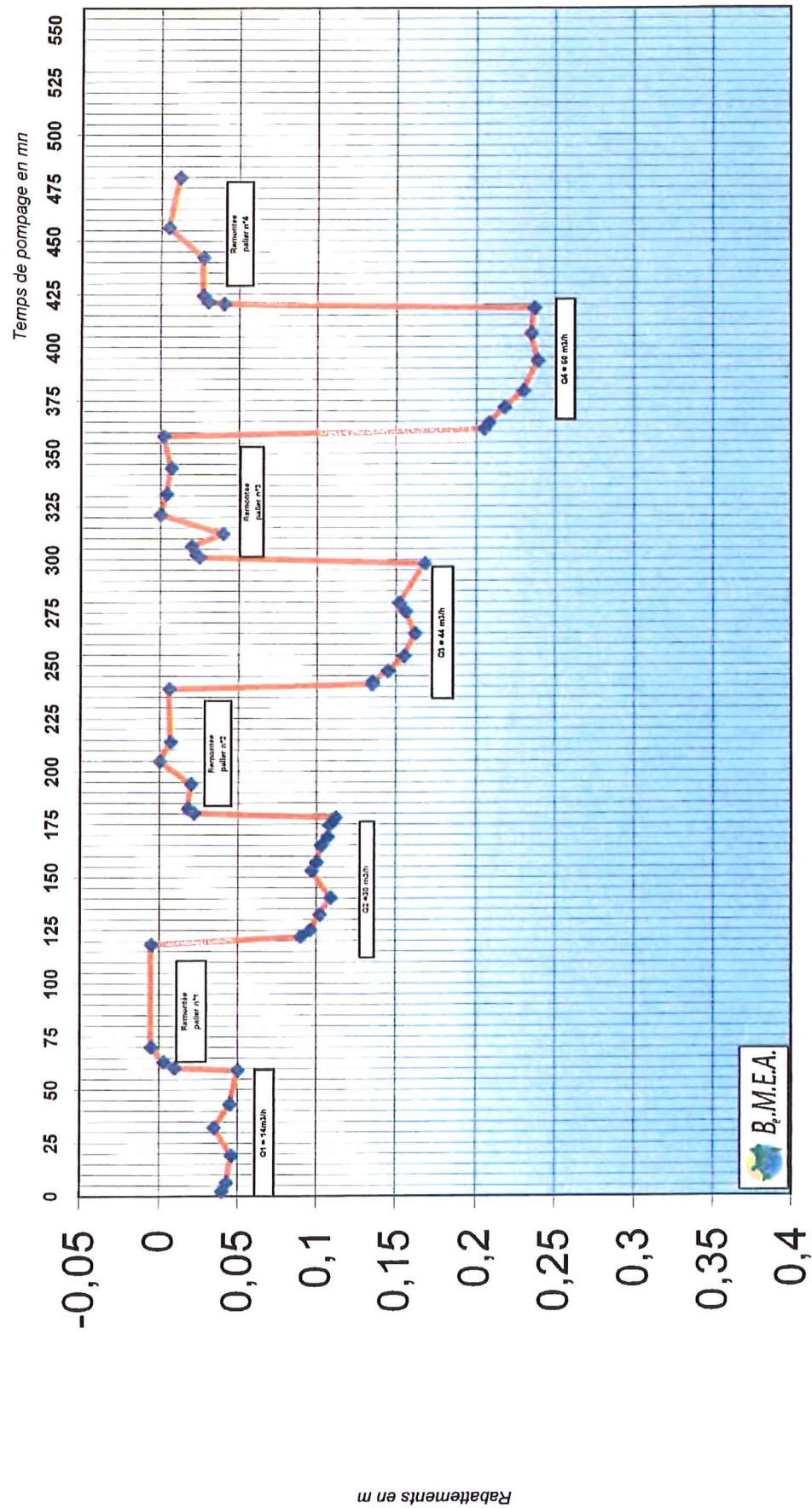
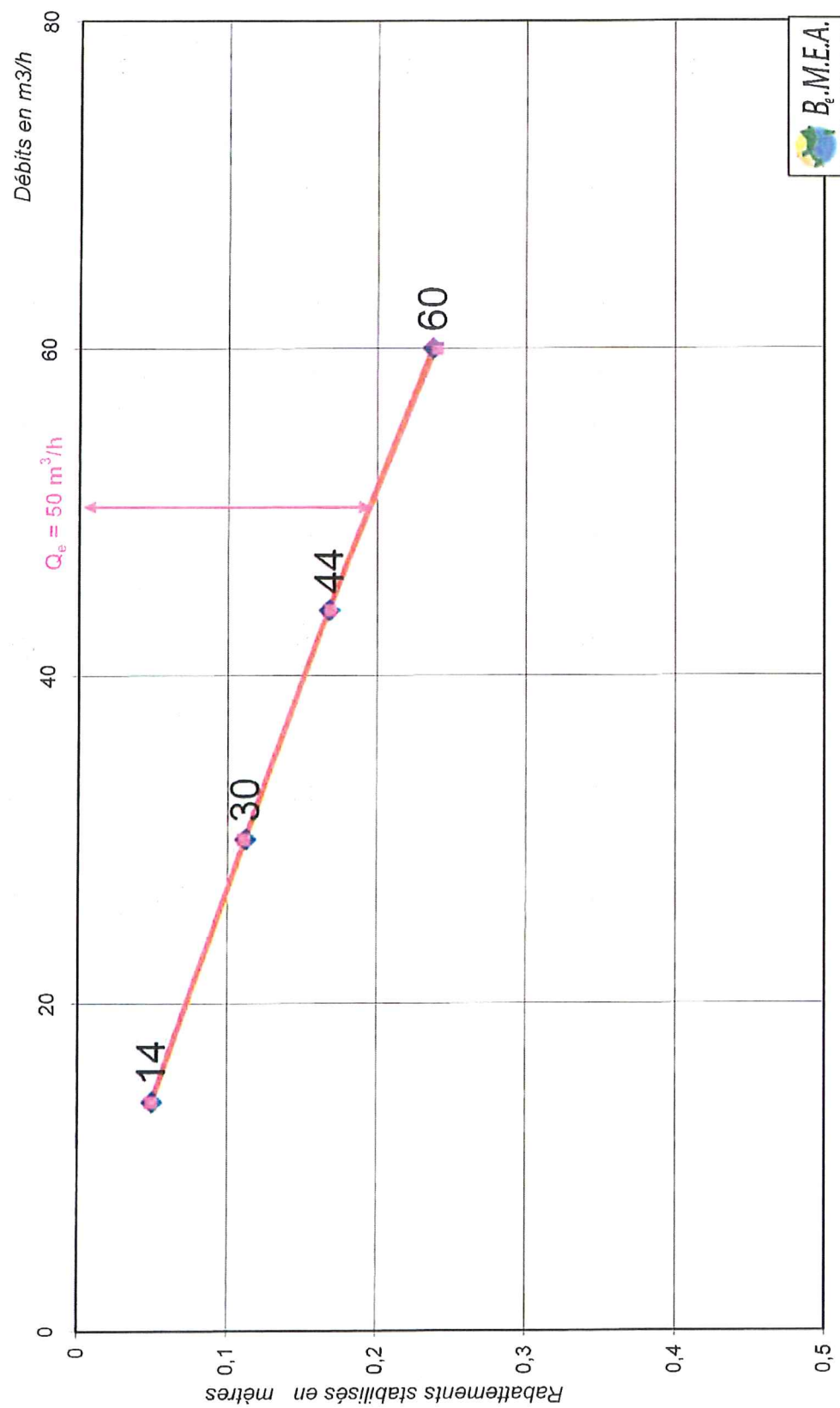




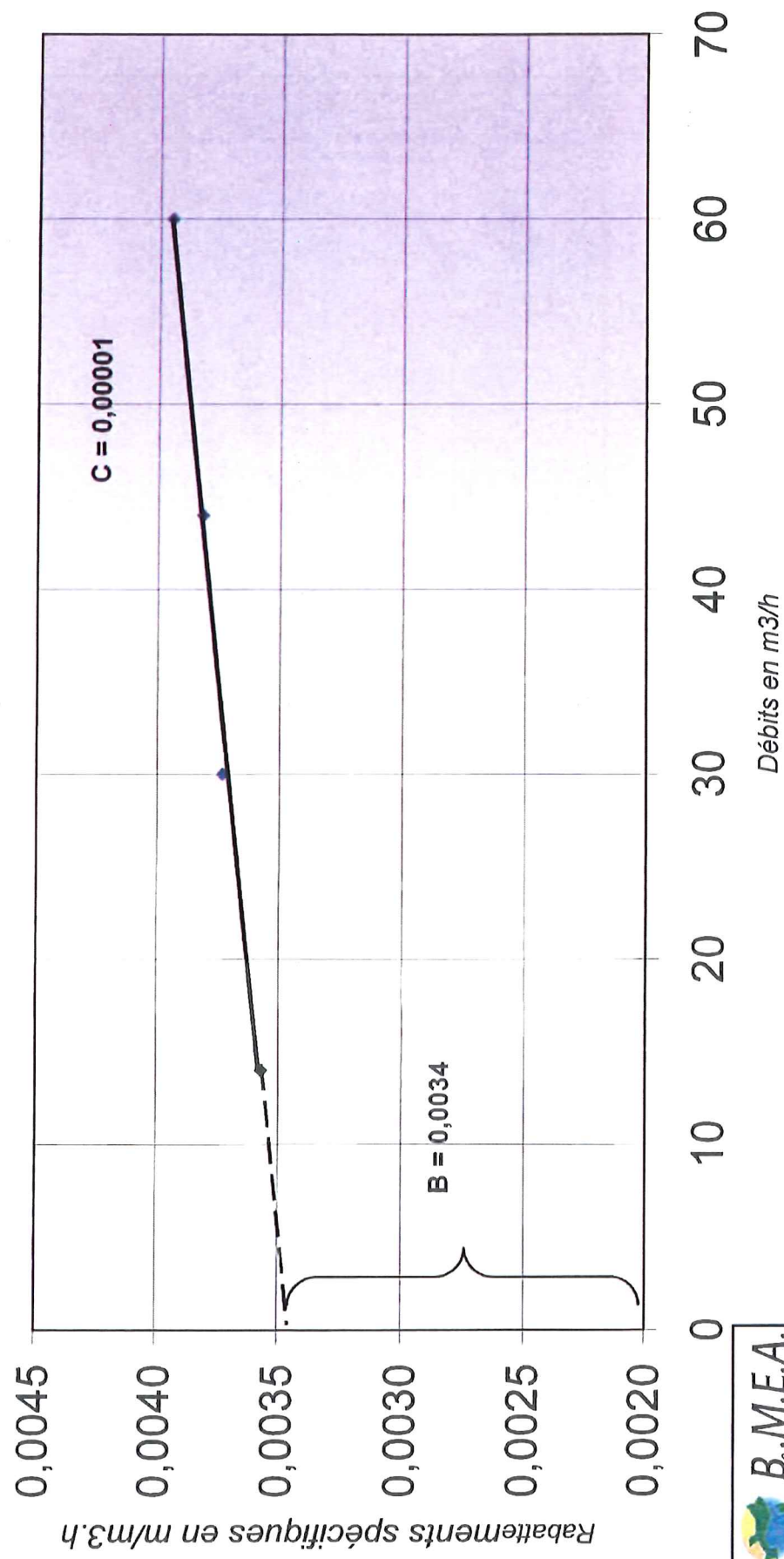
Figure 7 : ESSAI DE PUIITS PAR PALIERS  
DE DEBITS CROISSANTS SUR F4 AVAL



**Figure 8 : COURBE CARACTERISTIQUE DU FORAGE**  
**F4 aval DE NAVACELLES FIN JANVIER 2006**

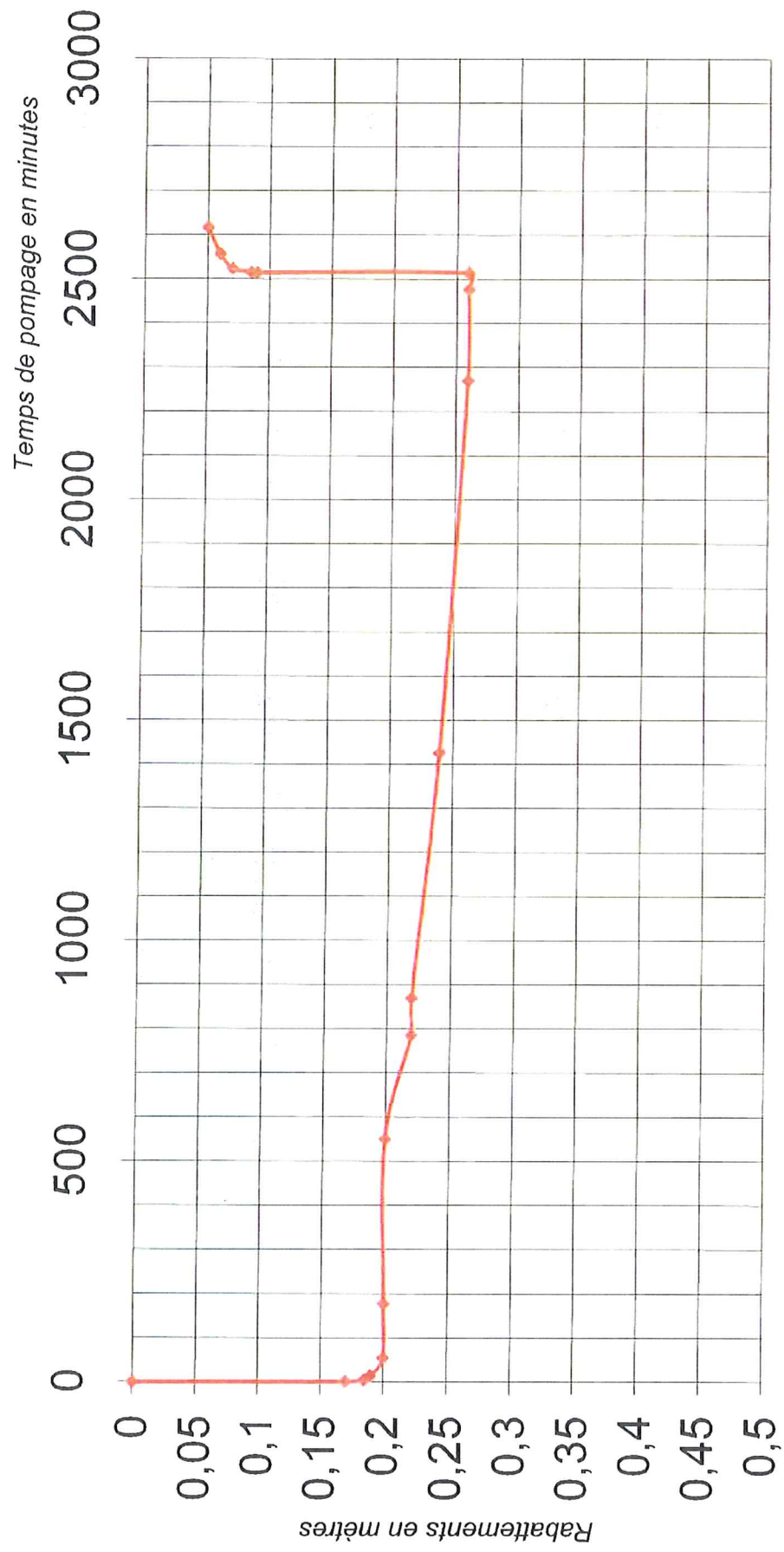


**Figure 9 : DROITE DEBITS / RABATTEMENTS SPECIFIQUES  
SUR F4 AVAL**





**Figure 10 : Pompage d'essai de longue durée sur  
F3 Amont.**



**Figure 11 : Pompage d'essai de longue durée sur  
F3 Amont.**

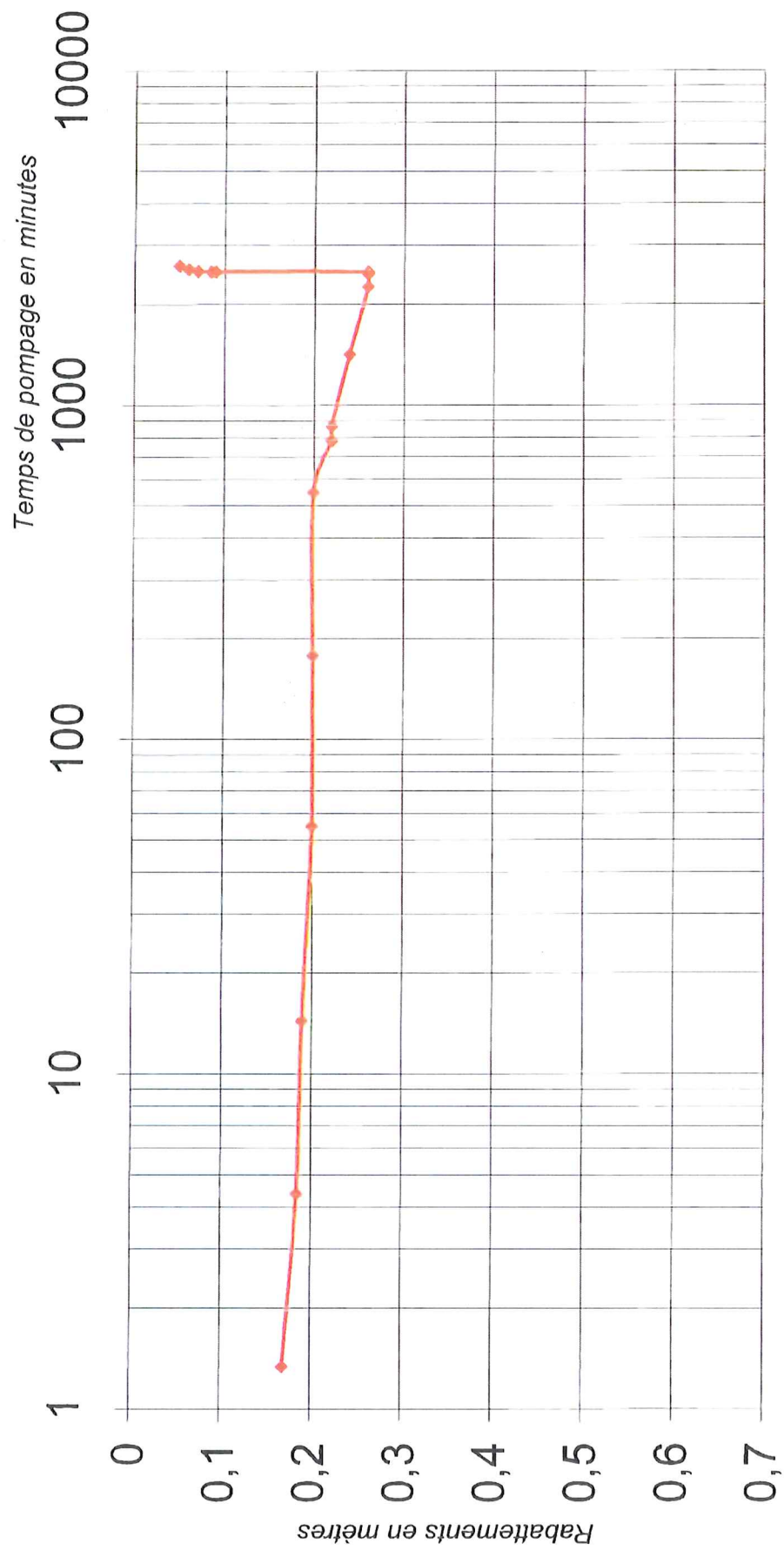
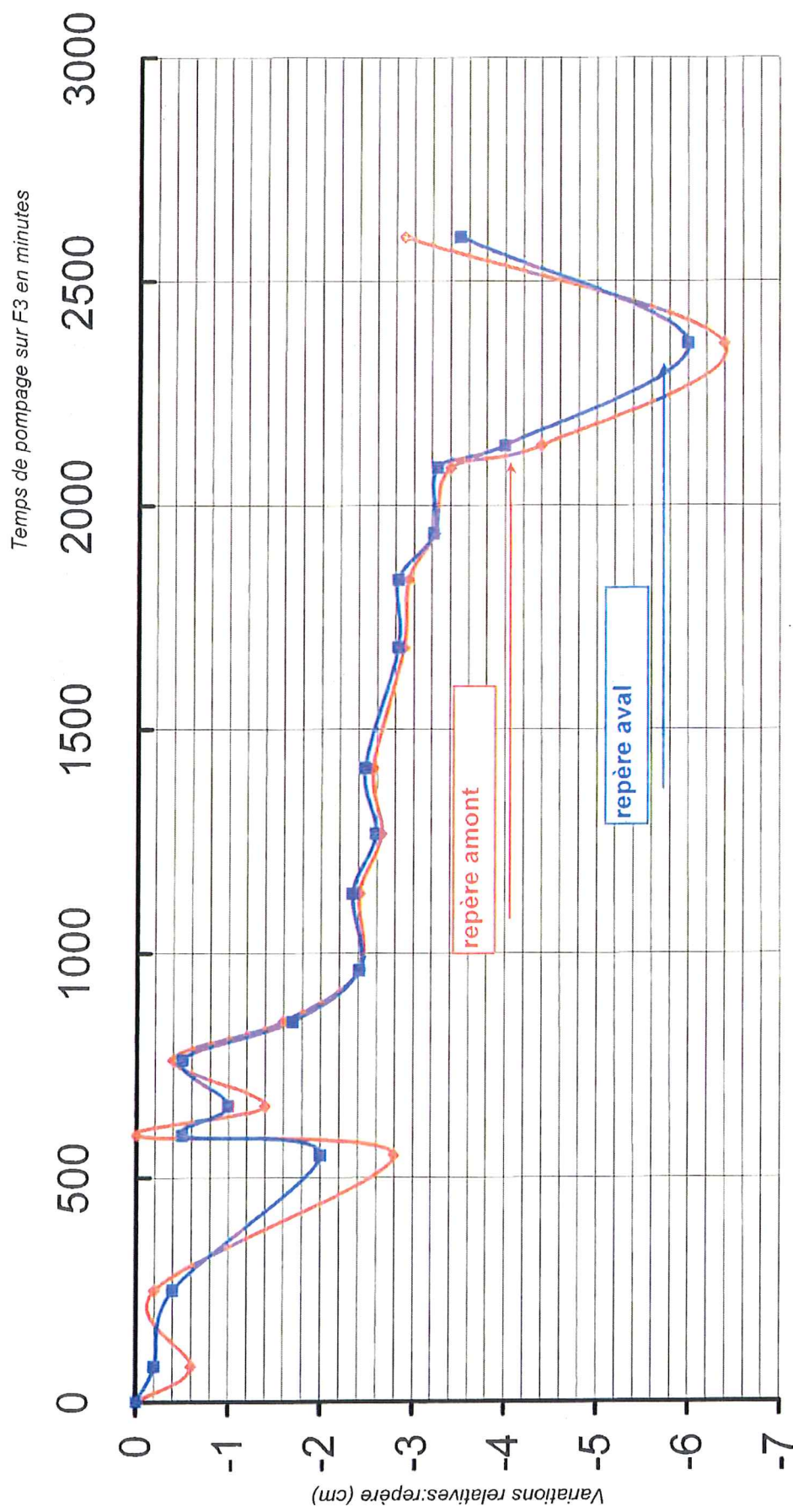
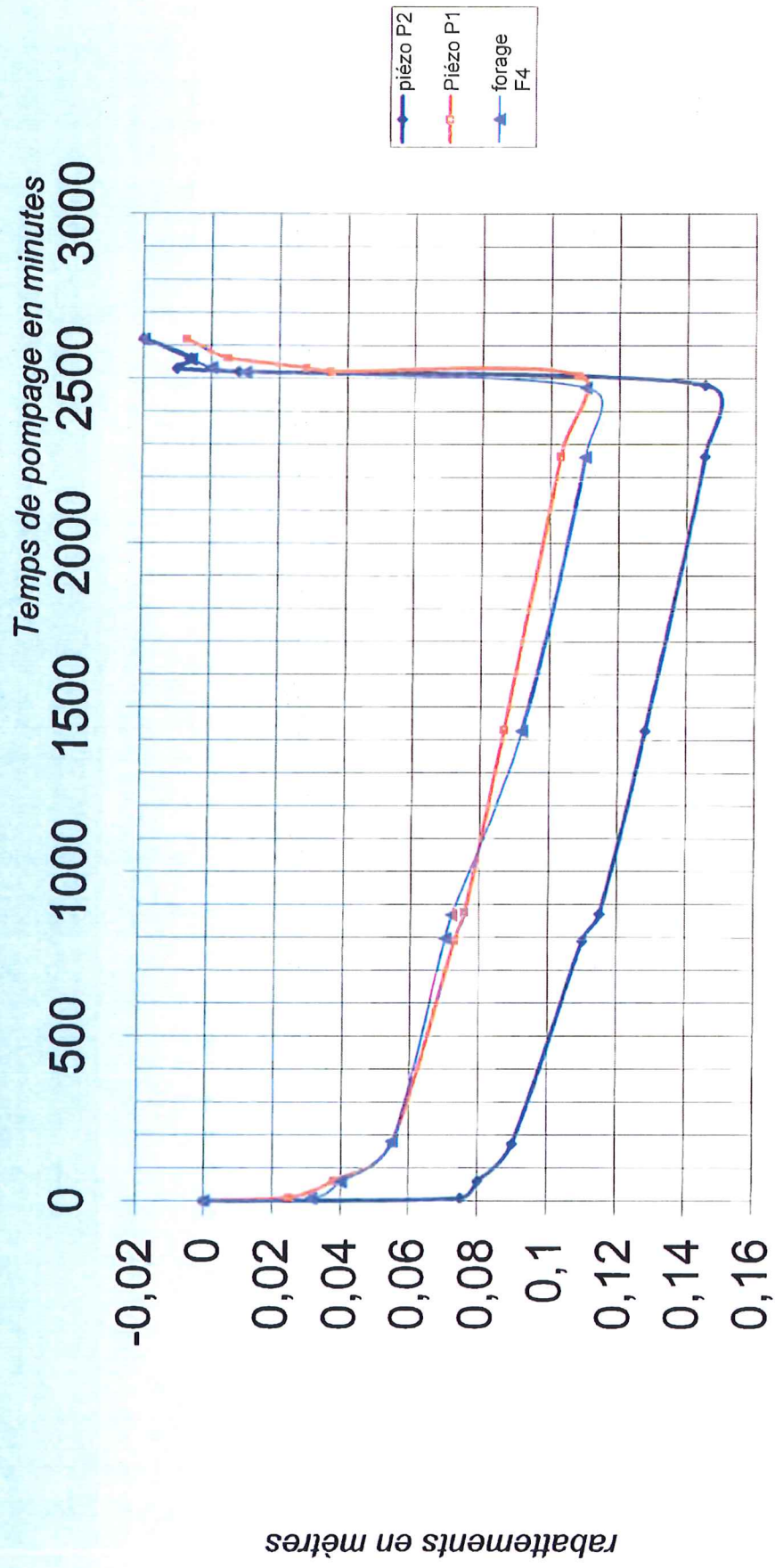


Figure 12 : suivi relatif des variations du niveau de la Vis.





**Figure 13 : suivi des niveaux dynamiques sur les piézomètres de contrôle**



**Figure 14 : suivi des niveaux dynamiques sur les piézomètres de contrôle**

