

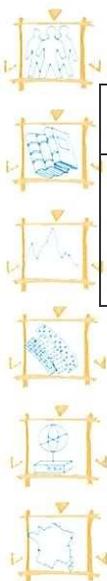
**MAIRIE DE ROQUEFORT (12)**

**RECHERCHE D'UNE RESSOURCE PROFONDE**

**REALISATION D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE**  
**LIEU-DIT « TENDIGUES »**

**COMMUNE DE ROQUEFORT (AVEYRON)**

***RAPPORT CALLIGEE T08-12027***

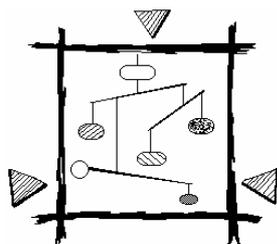


N° rév	Rédaction	Visa	Vérification	Visa	Approbation	Visa	Date application
1	Christophe SUBIAS Davy DOUAY		Christophe SUBIAS				Février 2008

**CALLIGÉE BRETAGNE**  
Zoopôle de Saint-Brieuc  
Site des Croix - 26, rue des Fusillés  
22440 PLOUFRAGAN  
Tél. 02 96 76 03 62 - Fax : 02 96 76 29 68  
E.mail : bretagne@calligee.fr

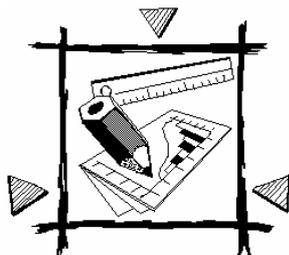
**CALLIGÉE - SIÈGE SOCIAL**  
Site Atlanpole - École Centrale  
1, rue de la Noë - BP 82118  
44321 NANTES Cedex 03  
Tél. 02 40 14 33 71 - Fax 02 40 14 33 72  
E.mail : nantes@calligee.fr

**CALLIGÉE SUD-OUEST**  
Innopole  
Le Prologue 2 - BP 2714  
31312 LABEGE Cedex  
Tél. 05 62 24 36 97 - Fax 05 61 39 07 28  
E.mail : toulouse@calligee.fr



## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>2</b>
<b>LISTES DES FIGURES ET ANNEXES</b> .....	<b>3</b>
<b>1 – CONTEXTE DE L'ETUDE</b> .....	<b>4</b>
<b>2 – CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE</b> .....	<b>5</b>
2.1 – Cadre géologique.....	5
2.2 – Cadre hydrographique .....	6
2.3 – Cadre hydrogéologique général.....	7
<b>3 – DESCRIPTION DU FORAGE</b> .....	<b>8</b>
3.1 – Situation géographique .....	8
3.2 – Travaux de foration .....	9
3.3 – Caractéristiques techniques du Forage .....	13
3.4 – Diagraphies – réception d'ouvrage .....	13
3.5 – Interprétation géologique du forage .....	14
3.6 – Interprétation hydrogéologique du forage .....	15
3.7 – Synthèse des travaux de foration.....	15
<b>4 – POMPAGES D'ESSAI</b> .....	<b>16</b>
4.1 – Essais de puits par paliers de débit de courte durée .....	16
4.2 – Pompage d'essai de longue durée.....	23
4.3 – Synthèse sur les paramètres hydrodynamiques .....	25
4.4 – Conclusion sur les pompages .....	25
<b>5 – QUALITE DE L'EAU</b> .....	<b>29</b>
<b>6 – CONCLUSION</b> .....	<b>30</b>
<b>CARTES</b> .....	<b>31</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>34</b>



## LISTES DES FIGURES ET ANNEXES

### LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Courbe caractéristique du forage.....	17
Figure 2 : Profondeur de l'eau lors des essais de pompage.....	19
Figure 3 : Cote NGF de l'eau lors des essais de pompage.....	20
Figure 4 : Profondeurs de l'eau lors des essais par paliers.....	21
Figure 5 : Cote NGF l'eau lors des essais par paliers.....	22
Figure 6 : Evolution de la profondeur de l'eau en fonction du temps de pompage lors de la descente.....	26
Figure 7 : Evolution de la profondeur de l'eau en fonction de $(t+t')/t'$ lors de la remontée.....	27

### LISTE DES TABLEAUX

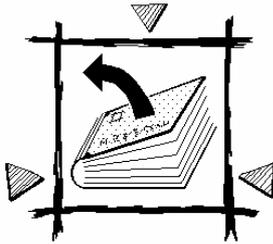
Tableau 1 : Coordonnées géographiques.....	8
Tableau 2 : Coordonnées cadastrales.....	8
Tableau 3 : Synthèse des travaux réalisés par Hydro Assistance.....	13
Tableau 4 : Synthèse des travaux réalisés par l'entreprise de forage.....	15
Tableau 5 : Tableau récapitulatif des essais par paliers.....	16
Tableau 6 : Tableau récapitulatif de l'interprétation des essais par paliers.....	18
Tableau 7 : Valeurs des transmissivités calculées.....	24

### LISTE DES CARTES

Carte 1 : Localisation du forage de Tendigues (carte IGN au 1/1000).....	31
Carte 2 : Extrait de la carte géologique du BRGM au 1/25 000.....	32

### LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Coupe géologique et technique du forage.....	34
Annexe 2 : Rapport de réception d'ouvrage (HYDRO ASSISTANCE).....	36
Annexe 3 : Données sur les essais de pompage.....	38
Annexe 4 : Résultats de l'analyse des eaux brutes après l'essai de pompage « longue durée ».....	42



## 1 – CONTEXTE DE L'ETUDE

La commune de Roquefort et son annexe Lauras sont alimentées actuellement en eau potable à partir de la source karstique de Tendigues. Le captage dessert l'ensemble des abonnés de la commune (230) mais aussi les Caves de Roquefort et les industriels situés sur la zone de Lauras.

Ce captage constitue la seule ressource d'approvisionnement de la commune. 75% de l'eau captée à Tendigues alimente le secteur industriel. Le débit naturel de la source couvre tout juste les besoins de la commune surtout en période estivale.

Suite aux études menées dans le cadre de la procédure « périmètres de protection », il a été démontré que cette ressource en eau souterraine était très vulnérable aux pollutions diverses et notamment accidentelles. De plus, elle présente une forte turbidité pendant les périodes pluvieuses, la rendant inapte à la consommation sans traitement lourd et onéreux.

C'est dans ce contexte que la commune de Roquefort a engagé la recherche d'une nouvelle ressource afin de suppléer ou compléter le captage de Tendigues.

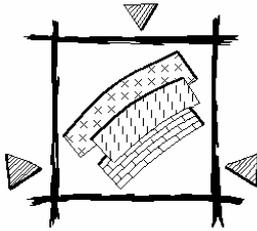
L'objectif est de reconnaître l'assise carbonatée du Jurassique au droit de la vallée du ruisseau de Tendigues, composée d'une succession de couches marneuses et calcaires, ces dernières étant susceptibles de contenir de l'eau en quantité et qualité satisfaisante.

**Le projet prévoyait la réalisation d'un forage de reconnaissance à 180 m de profondeur (débit potentiel souhaité de 70 m<sup>3</sup>/h) et si celui-ci s'avérait négatif, la foration d'un deuxième forage à 200 m de profondeur.**

Ce rapport présente:

- les travaux de foration du premier ouvrage réalisé,
- les essais de pompages effectués sur ce forage,
- les premiers résultats concernant le débit d'exploitation et la qualité de l'eau pompée.

**Ce document constitue un rapport provisoire de l'étude.**



## 2 – CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

### 2.1 – CADRE GEOLOGIQUE

#### 2.1.1 – Contexte géologique et géomorphologique

La zone d'étude se situe dans l'avant-causse liasique qui constitue une zone de transition entre le Causse du Larzac (calcaires jurassiques) et le Bassin de Saint-Affrique (schistes permien) (carte et coupe géologique en **carte 2**).

Le relief est caractérisé par des massifs marneux parfois surmontés d'épaisses strates calcaires, dont la plus importante sur Roquefort forme le Causse du Combalou.

Le pendage général des couches est vers le Nord Est (5 à 10°).

#### 2.1.2 – Description des terrains

Les formations les plus représentées sur le secteur d'étude sont celles du Jurassique moyen à inférieur :

- de l'Aalénien au Bathonien au niveau des Causses du Combalou et du Larzac,
- de l'Hettangien au Toarcien sur le reste du territoire étudié.

Ces formations sont recouvertes au niveau des vallées par des alluvions récentes déposées par les ruisseaux.

#### ➤ *Formations du Jurassique*

- **L'Hettangien (I<sub>1-2</sub>)** correspond à des dolomies et calcaires dolomitiques pouvant atteindre une épaisseur de 100 à 200 m.

La suite de la formation se présente ainsi du sommet à la base :

- de calcaires marneux dans sa partie supérieure ;
- de calcaires à cargneules avec bancs de marnes intercalés dans sa partie médiane ;
- de calcaires dolomitiques et dolomies dans sa partie inférieure. Vers la base, s'intercalent parfois des bancs de grès conglomératiques ou des lits de dolomies à grains ou graviers de quartz.

Cette formation est observée dans la vallée du Cernon, sous les alluvions récentes.

- **Le Sinémurien (I<sub>3</sub>)** est constitué de calcaires plus ou moins dolomitiques, lithographiques, compacts et durs, à grain fin, grisâtres ou blanchâtres, souvent en bancs. Son épaisseur est estimée entre 50 et 70 m.

- **Le Lotharingien (I<sub>4</sub>)** est formé dans sa partie inférieure de calcarénites fines et de calcaires oolithiques et bioclastiques. Sa partie supérieure paraît masquer en général sous le Carixien.
- **Le Carixien (I<sub>5</sub>)** se compose d'une alternance de calcaires argileux et de marnes grises subordonnées. Il fait de 30 à 60 mètres d'épaisseur.
- **Le Domérien (I<sub>6</sub>)** correspond à des marnes feuilletées. Sa puissance peut varier de 30 à 60 m d'ouest en est.
- **Le Toarcien inférieur (I<sub>8</sub>)** est constitué de marno-calcaires et schistes bitumineux (10 m).
- **Le Toarcien supérieur et Aalénien inférieur (I<sub>8-9a</sub>)** est constitué par des marnes feuilletées d'une épaisseur variant de 50 à 70 m.
- **L'Aalénien supérieur (I<sub>9b</sub>)** se compose d'une alternance de calcaires noduleux, de sables et de marnes.

### ➤ **Formations superficielles**

- **Les alluvions récentes** sont observées au niveau des fonds de vallée, essentiellement sous la forme de cailloutis calcaires, plus rarement de sédiments fins. Elles sont en général peu épaisses et le lit des rivières montre souvent la roche en place.

## 2.2 – CADRE HYDROGRAPHIQUE

La source de Tendigues se situe en rive droite du ruisseau du même nom. Le ruisseau de Tendigues est formé par :

- le Ravin de Puech Rouge (temporaire),
- le Ravin de Merderie (temporaire),
- le Ravin de Pradelles (temporaire),
- le Ravin de Claveyrolles.

Le ruisseau de Tendigues est permanent à partir de la source du même nom. Il se jette ensuite dans le Souzlon, affluent du Cernon, lui-même affluent du Tarn.

Les débits d'étiage de références de ces cours d'eau sont estimés à :

- 0,12 m<sup>3</sup>/s pour le Souzlon à l'amont du ruisseau de Tendigues ;
- 0,15 m<sup>3</sup>/s pour le Souzlon à l'aval du ruisseau de Tendigues ;
- 0,04 m<sup>3</sup>/s pour le ruisseau de Tendigues.

## 2.3 – CADRE HYDROGEOLOGIQUE GENERAL

Les aquifères rencontrés dans ce secteur sont essentiellement de type karstique. Ils concernent les formations du Jurassique moyen et supérieur et celle du Lias inférieur, séparées par les terrains marneux du Lias supérieur (**carte 2**).

**L'aquifère du Lias inférieur** (Hettangien, Sinémurien et Lotharingien) est limité à sa base par les formations argilo-gréseuses du Trias qui constituent un mur imperméable et à son sommet par les formations marneuses du Lias supérieur (Carixien à Toarcien).

La présence importante de dolomite (80 à 90 %), moins soluble que le calcaire limite la karstification dans ces formations. Elle est responsable de la prédominance de conduits et de fissures de petites dimensions ayant un rôle régularisateur dans le régime des sources. La vitesse moyenne d'écoulement rencontrée est de 35 m/h.

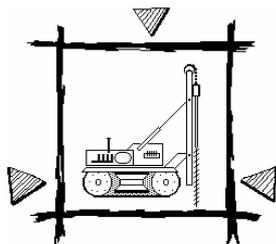
**L'aquifère du Jurassique moyen à supérieur** (Aalénien, Bajocien et Bathonien) est limité au mur par les marnes du Toarcien.

La nature de ces formations (80 % de calcite) a permis le développement d'une karstification plus importante sous forme de conduits de grandes dimensions. La vitesse moyenne d'écoulement y est de 60 m/h.

Généralement, on distingue deux types de systèmes karstiques :

- les précipitations qui s'infiltrent sur les affleurements calcaires gagnent les niveaux de base marneux en donnant au contact des sources dont le débit est variable suivant le bassin versant. Ce type de karst est dit « perché » ;
- lorsque les rivières ont entaillé ces formations calcaires karstifiées, c'est leur cours qui constitue le niveau de base et on peut envisager l'existence de karsts profonds noyés.

Les alluvions peu développées sur le secteur offrent des ressources en eau limitées.



### 3 – DESCRIPTION DU FORAGE

#### 3.1 – SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le forage de reconnaissance réalisé se situe sur la commune de Roquefort au lieu-dit « Tendigues », à 80 m en rive droite du ruisseau de Tendigues, près des installations actuelles de pompage. La parcelle où il est implanté appartient à la Société des Caves (voir localisation **carte 1**).

Les localisations cadastrale et géographique du forage sont les suivantes :

**Tableau 1 : Coordonnées géographiques**

Département	Commune	Lieu-dit	Coordonnées Lambert III		Altitude NGF
			X	Y	Z (sol)
Aveyron	Roquefort	Tendigues	650 709	1 886 931	442**

**Tableau 2 : Coordonnées cadastrales**

N° National	Situation cadastrale	
	Secteur	Parcelles
?	B1	679

L'accès se fait depuis la route départementale n°999, puis par le nouveau pont de la départementale n°23 menant à Roquefort, et enfin par la voie communale desservant des industriels et quelques habitations..

La zone quasi triangulaire n'est pas clôturée. Elle est limitée :

- au Sud par un terrain de tennis,
- à l'Ouest par un fossé et les entrepôts de la Société des Caves de Roquefort,
- à l'Est par la voie communale.

Des travaux récents (février 2008) ont été réalisés à la pointe Nord de ce triangle, visant à faciliter l'accès des nombreux camions sortant de l'entrepôt.

Aucune habitation ne se trouve à proximité immédiate du captage. Par contre, les entrepôts et parkings de la société des Caves sont localisés à 40 m à l'Ouest du forage. A noter que cette installation est soumise à la Loi de 1976 sur les Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE).

\*\* 442 m NGF : cote altimétrique approximative, le forage n'ayant pas été nivelé

## 3.2 – TRAVAUX DE FORATION

### 3.2.1 – Entreprise chargée de la réalisation des forages

L'entreprise retenue pour la réalisation des forages est :

**Entreprise MASSE  
Lieu-dit Hérisson  
Chantemerle sur la Soie  
05 46 59 75 52**

représentée par M. Philippe AUGER.

### 3.2.2 – Méthode de foration et type d'équipement

- **Méthode de Foration**

La technique de foration utilisée pour la réalisation de l'ouvrage est celle dite du Marteau Fond de Trou (MFT) à l'air. Les premiers mètres de foration ont été réalisés à la vrille 445 mm à cause de la mauvaise tenue des terrains de surface. Un premier tubage de protection (500 mm) était mis en place à l'avancement.

Les sondeuses mises en œuvre furent la SHRAMM T685 et l'AQUADRILL 1000 sur lesquelles différents outils sont adaptables :

- La vrille Ø 445 mm.
- Le Marteau Ø 311 mm (**photo 5**).
- Le Marteau Ø 222 mm (**photo 6**).

- **Equipement des ouvrages**

Les tubages utilisés pour le soutènement des terrains sont de type acier de 5 mm d'épaisseur. Les différents diamètres utilisés sont les suivants :

- Tubage acier Ø 323 mm.
- Tubage acier Ø 244 mm

La cimentation a été réalisée sous pression à partir du laitier (d=1.8).

- La cimentation de tête a été réalisée en circulation inverse par canne d'injection.
- La cimentation du Carixien a été réalisée sous pression par l'intérieur du tube Ø 244 mm avec complément par canne dans l'espace annulaire.

- **Evacuation des eaux d'exhaure**

Les eaux d'exhaure étaient canalisées et dirigées vers une tranchée créée à cet effet par la Mairie de Roquefort.

Ce fossé d'une vingtaine de mètres de longueur rejoignait le réseau pluvial qui débouche plus bas dans le ruisseau de Tendigues.

Un système de jaugeage manuel a été mise en place à la sortie de ce fossé. Une filtration naturelle des eaux par étalement de bottes de foin a été mise en place dans ce fossé afin d'éliminer au maximum les matières en suspension contenues dans les eaux et d'éviter un trouble important du ruisseau de Tendigues notamment dans les 1<sup>er</sup> phases de la foration.

### **3.2.3 – Déroutement des travaux**

Les travaux de foration et d'équipement se sont déroulés du 28 novembre au 20 décembre 2007.

**La profondeur totale de foration est de – 178,40 m par rapport au terrain naturel, pris par la suite à la cote altimétrique de 442 m NGF.**

#### **Le 28 novembre 2007**

- Amenée de la 1<sup>er</sup> foreuse (SHRAMM T685)
- Foration à la vrille 445 mm jusqu'à 10,00 m sans difficulté

#### **Le 29 novembre 2007**

- Nettoyage de l'avant-trou
- Tubage en acier 323 mm( épaisseur 5 mm) jusqu'à 10,5 m de profondeur
- Cimentation de l'espace annulaire par circulation inverse (laitier réalisé à partir de 565 kg de ciment)

#### **Le 6 décembre 2007**

- Amené de la 2<sup>ième</sup> foreuse sur site (l'AQUADRILL 1000)

#### **Le 10 décembre 2007**

- Amené du compresseur sur site

#### **Le 11 décembre 2007**

- Pose de tubes guides avec centreur (244 mm) jusqu'à 11,50 m
- Foration MFT (222 mm) jusqu'à 42,70 m pour reconnaissance. Identification du toit du Carixien autour de 15 m
- Dépose des tubes centreurs
- Alésage au MFT 311 mm jusqu'à 20 m

**Le 12 décembre 2007**

- Remblaiement jusqu'à 20 m avec des inertes
- Mise en place du tube acier 244 mm soudés jusqu'à 20 m
- Soudure d'une bride acier sur le tube dépassant de 0,80 m par rapport au TN (terrain naturel)
- Pose d'une plaque de cimentation
- Injection sous pression de 800 Kg de ciment

**Le 13 décembre 2007**

- Contrôle de la cimentation : Haut du ciment à 4m
- Ajout d'un complément de 150 kg de ciment

**Le 17 décembre 2007**

- Retrait de la plaque de cimentation
- Contrôle de la cimentation : Haut du ciment à l'intérieur à 18,50 m (remontée de 1,50 m)
- Contrôle de la cimentation dans l'espace annulaire : Haut du ciment à 0 (raz du sol)
- Foration au MFT 222 mm, nettoyage
- Poursuite de la foration jusqu'à 53 m
- Panne MFT

**Le 18 décembre 2007**

- Mesure du niveau statique de l'eau à 1,25 m du sol
- Foration MFT (222 mm) de 53 m à 105 m
- Eau de soufflage très laiteuse
- Débit d'eau au soufflage de 10 m<sup>3</sup>/h, eau de plus en plus claire

**Le 19 décembre 2007**

- Mesure du niveau statique de l'eau à 1,40 m du sol
- Foration au MFT 222 mm de 61 m à 142 m
- Débit au soufflage mesuré de 13 m<sup>3</sup>/h
- Foration au MFT 222 mm de 142 m à 172 m
- Augmentation du débit au soufflage : 19,0 m<sup>3</sup>/h à 148 m, 28,8 m<sup>3</sup>/h à 154 m, 36m<sup>3</sup>/h à 160 m, 48 m<sup>3</sup>/h à 148 m, 58,8 m<sup>3</sup>/h à 172 m, eau claire

**Le 20 décembre 2007**

- Forage artésien, mesure d'un débit de 363 l/h
- Foration au MFT 222 mm de 172 m à 178,5 m
- Débit au soufflage de 74,6 m<sup>3</sup>/h
- Arrêt de foration après accord du Parc Naturel des Grands Causses,
- Retrait de 7 tiges
- Fermeture du forage avec joint, plaque et vanne

**Du 8 au 9 janvier 2008**

- Mesure de l'artésianisme à 7,2 m<sup>3</sup>/h
- Contrôle du fond de l'ouvrage (177.5 m soit 1 m de dépôt),
- Développement de l'ouvrage par soufflage à l'air lift de 8h à 14h00
- Eau de sortie très claire
- Débit de soufflage mesuré à 80 m<sup>3</sup>/h
- Retrait de l'ensemble des tiges
- Repli de la machine et fermeture de l'ouvrage
- Pose de la plaque pour fermeture du forage

**Le 16 janvier 2008**

- Réception de l'ouvrage par examen endoscopique, diagraphies de production et différées

**Le 22 et 23 janvier 2008**

- Décision de laisser le forage en trou nu de -35 à - 178 m,
- Equipement de l'ouvrage en tube PVC suspendu de diamètre 160 x 180 mm, d'épaisseur 7,6 mm et d'ouverture des crépines 100 mm jusqu'à 55 m/TN avec :
  - En surface : équipement de la tête de forage d'une collerette pour suspendre le PVC,
  - de 0 à - 35 m : tube PVC lisse
  - de - 35 à - 55 m : tube PVC crépiné

### 3.2.4 - Mesures prises pour limiter l'impact sur le milieu naturel

Toutes les mesures possibles de salubrité et de sécurité ont été prises afin de limiter au maximum l'impact des travaux sur le site et son environnement.

En particulier, l'entreprise de forage a pris en compte des garanties supplémentaires concernant d'éventuelles fuites hydrauliques des engins, ou lors du ravitaillement en fuel.

Le stockage des hydrocarbures a été fait dans des réservoirs à double paroi. Aucun entretien important des machines n'a été effectué sur la zone de forage.

La tête de forage est équipée d'une plaque de fermeture avec joint étanche, permettant d'éviter ainsi la contamination des eaux par la surface.

### 3.3 – CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU FORAGE

La coupe technique du forage est présentée en **annexe 1**.

La coupe technique du forage est la suivante :

- de 0 à - 10,00 : tube acier 323 mm ancré de 3 m dans les marnes Domériennes,
- de 0 à - 20,00 : tube acier 244 mm ancré de 5 m dans les calcaires marneux du Carixien,
- de - 20 à - 178 m : trou nu

La cimentation de la partie superficielle des terrains jusqu'à 20 m permet un isolement parfait de la nappe profonde du Jurassique des eaux superficielles contenues dans les colluvions.

### 3.4 – DIAGRAPHIES – RECEPTION D'OUVRAGE

Un contrôle de l'ouvrage a été réalisé par la société HYDRO ASSISTANCE le 16 janvier 2008. Les examens réalisés sont synthétisés dans le tableau suivant.

**Tableau 3 : Synthèse des travaux réalisés par Hydro Assistance**

Désignation		Unité	Cotes	Quantité (ml)
Inspection caméra		ml	De 0 à 178.60 m	178.60
Diagraphie de production en pompage Q= 40m <sup>3</sup> /h	Température, conductivité	ml	De 23 à 177 m	154
	Flux	ml	De 23 à 177 m	154
Contrôle cimentation CBL		ml	De 0 à 20 m	20
Gamma Ray		ml	De 0 à 177 m	177
Diamètreur		ml	De 0 à 177 m	177

Le rapport complet est présenté en **annexe 2**.

Les conclusions sont les suivantes :

- L'ensemble des équipements en acier de la chambre de pompage est dans un état mécanique visuel très satisfaisant, ne présentant aucune anomalie significative.
- La cimentation est parfaitement présente entre 4 et 18 m de profondeur (contrôle impossible en deçà de 4 m et fin du tubage à 18 m). Les propriétés d'étanchéité sont très satisfaisantes.
- La partie en trou nu est relativement bien calibrée. Seule la zone située entre 150 et 164 m présente une section moins homogène.
- La base de l'ouvrage a été reconnue à 178,60 m sous le repère (repère à +0,63 m du sol).
- Les diagraphies de production effectuées au débit de 40 m<sup>3</sup>/h ont permis de constater que la majeure partie des arrivées d'eau se situait entre 150 et 163 m sous le repère (66% du débit produit) avec une distribution suivante :
  - 32% entre 20,6 et 87,60 m,
  - 2% entre 97,3 et 150 m,
  - 66% entre 150 et 164 m soit sur une hauteur de 14 m.
- Les profils de température et de conductivité enregistrés sont marqués par des points d'inflexion au droit des différentes arrivées avec une augmentation sensible de la température et de la minéralisation. On note :
  - A 25 m : T = 17,5°C, conductivité = 2523 µS/cm à 25°C,
  - A 150 m : T = 18,1°C, conductivité = 2758 µS/cm à 25°C.

### 3.5 – INTERPRETATION GEOLOGIQUE DU FORAGE

Pendant la foration, des échantillons de terrain ont été prélevés tous les mètres et disposés dans des sacs étiquetés et conservés dans les locaux de CALLIGEE à LABEGE (31).

L'interprétation des cuttings a permis d'établir la succession lithologique du forage. Les diagraphies différées ainsi que l'examen endoscopique ont permis de préciser cette lithologie et les limites entre les différentes unités géologiques traversées.

Une coupe interprétative est présentée en **Annexe 2**. L'implantation du forage par rapport au contexte géologique général est figurée sur la **Carte 2**.

La succession lithologique du forage est la suivante :

- de 0 à 7 m : colluvions de pente d'âge Quaternaire,
- de 7 à 14 m : marnes feuilletées grises du Domérien,
- de 14 à 51 m : alternance de marno-calcaires et de marnes grises du Carixien,
- de 51 à 107 m : calcaires dolomitiques grisâtres très compacts à grains fins et à remplissage calcitique d'âge Sinémurien
- de 107 à 178 m : dolomies et calcaires dolomitiques de l'Hettangien.

### 3.6 – INTERPRETATION HYDROGEOLOGIQUE DU FORAGE

Le forage capte la nappe profonde contenue dans les formations carbonatées sinémuriennes et hettangiennes plus ou moins karstifiées.

Les principales venues d'eau se situent entre 150 et 164 m de profondeur dans des zones fracturées des calcaires dolomitiques. Le profil GAMA RAY indique un changement de faciès à 107 m qui pourrait être attribué à la limite Sinémurien-Hettangien.

L'examen endoscopique du forage confirme la présence de nombreuses fractures verticales et horizontales entre 148 et 160 m, parfois recristallisées par des remplissages calcitiques ou parfois ouvertes (présence de cavités à 158,20 m).

Une partie des eaux s'infiltrant sur l'avant-causse Liasique de Lauras est drainée superficiellement par la source de Tendigues, qui constitue le point de débordement le plus bas de la limite de captivité. Une partie des eaux est cependant drainée en profondeur dans les dolomies et calcaires dolomitiques du Sinémurien et de l'Hettangien. Ces eaux subissent un long cheminement souterrain où elles vont se minéraliser et se réchauffer pour être finalement capter à 150 m de profondeur au forage F1.

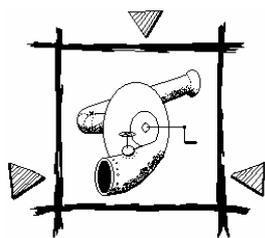
Cette aquifère captif est surmonté par les formations marneuses du Carixien sommital et du Domérien, qui lui confère cet artésianisme et le protège efficacement des pollutions superficielles.

### 3.7 – SYNTHÈSE DES TRAVAUX DE FORATION

La synthèse des travaux réalisés par les entreprises Massé et Hydro Assistance est reportée dans le tableau 3.

**Tableau 4 : Synthèse des travaux réalisés par l'entreprise de forage**

Désignation		Unité	Cotes (de ...à ...)	Quantité
Foration	Vrille Ø 445 mm	ml	De 0,00 à - 10,00 m	10,00
	MFT Ø 222 mm	ml	De 10,00 à -178.5 m	158.50
	MFT Ø 311 mm	ml	De -10,00 à -20.00 m	10.00
Fourniture et pose acier Ø 323 mm		ml	De 0,00 à -6,00 m	10.5
Fourniture et pose acier Ø 244 mm		ml	De +0,80 à - 20,00 m	20,80
Cimentation tête		ml	De 0,00 à -10,00 m	6
Cimentation Marnes puis encrage calcaire Carixien		ml	De +0,80 à - 20,00 m	20,80
Tête d'ouvrage		unité		1



## 4 – POMPAGES D'ESSAI

Les essais de pompage ont été soumis à déclaration au titre de la Loi sur l'Eau pour les pompages et le rejet des eaux pompées. Les essais ont fait l'objet d'une demande d'autorisation préalable auprès de la MISE 12 (rapport Calligée T07-12075).

La courbe présentant les niveaux d'eau lors de l'ensemble des essais est présentée en **figure 2**. Une pompe 6 pouces d'une capacité maximale de 80 m<sup>3</sup>/h a été descendue et positionnée à 50 m/TN.

### 4.1 – ESSAIS DE PUIS PAR PALIERS DE DEBIT DE COURTE DUREE

Des essais de pompage par paliers ont été réalisés semaine 4 (23 et 24 janvier 2008).

Ces essais ont pour but d'évaluer les caractéristiques du complexe aquifère/ouvrage par détermination des paramètres tels que les débits spécifiques, les rabattements spécifiques et les pertes de charge de l'ouvrage.

Quatre paliers à quatre débits différents ont été réalisés.

**Tableau 5 : Tableau récapitulatif des essais par paliers**

Heure début	Heure fin	Durée (min)	Débit (m3/h)	Niveau début (m/rep)	Niveau fin (m/rep)	Différence (m)
23/01/2008 16:26	23/01/2008 18:26	120	16.7	0.15	3.12	2.97
23/01/2008 18:26	24/01/2008 08:15	829	0	3.12	0.15	-2.97
24/01/2008 08:15	24/01/2008 10:15	120	41	0.15	13.11	12.96
24/01/2008 10:15	24/01/2008 10:45	30	0	13.11	0.15	-12.96
24/01/2008 10:45	24/01/2008 12:45	120	59	0.15	24.14	23.99
24/01/2008 12:45	24/01/2008 13:15	30	0	24.14	0.53	-23.61
24/01/2008 13:15	24/01/2008 15:15	120	77.2	0.53	38.545	38.015

Les variations du niveau d'eau ont été mesurées manuellement grâce à une sonde piézométrique et par un sonde de pression reliée à une centrale d'acquisition. Les débits ont été mesurés grâce à un débitmètre électromagnétique. L'ensemble des relevés est présenté en **annexe 3**.

Le forage étant artésien, le niveau statique n'a pas pu être mesuré. Le niveau initial a été pris à la cote 0,15 m du repère (haut du tube guide sonde, soit 0,15 m au dessus du tube inox ou 0,89 m au dessus du sol).

Les variations des profondeurs, en fonction du temps sont présentées sur la **figure 4**.

#### 4.1.1 – Débit critique

Le débit critique est le débit au delà duquel l'arrivée d'eau dans le forage devient turbulent. Le régime turbulent a pour effet de diminuer le rendement du captage et d'entraîner les particules fines de l'aquifère, d'où possibilité d'ensablement du forage.

La courbe caractéristique (rabattement observé en fonction du débit) de ces essais est présentée sur **figure 1**.

La courbe caractéristique ne présente pas de rupture de pente caractéristique du débit critique. Celui-ci ne peut pas être déterminé graphiquement d'après la courbe caractéristique.

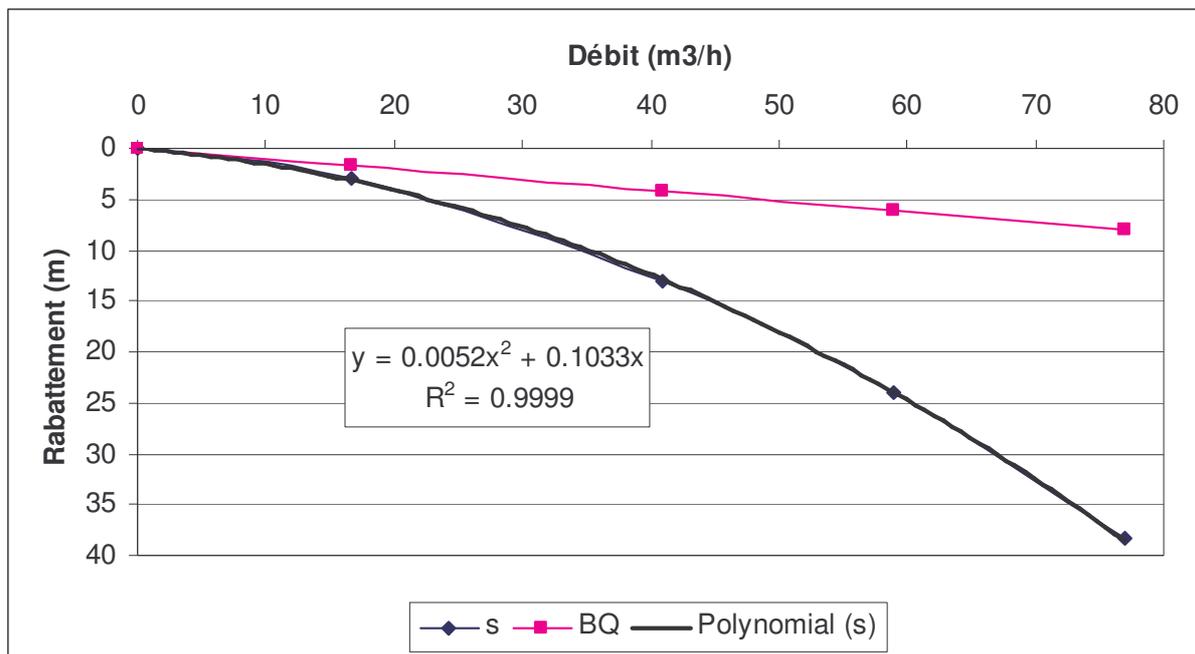


Figure 1 : Courbe caractéristique du forage

### 4.1.2 – Pertes de charge

Le rabattement (s) mesuré dans un ouvrage est la somme de la perte de charge linéaire (BQ) et de la perte de charge quadratique (CQ<sup>2</sup>). Il est donné par l'équation de Jacob :

$$s = BQ + CQ^2$$

Les conditions d'application de la méthode de Jacob sont :

- le forage doit être complet, c'est-à-dire capter la totalité de l'aquifère,
- la nappe doit être homogène et isotrope,
- le rayon du puits est négligeable comparé à la nappe,
- le puits est parfaitement développé et équipé,
- la surface piézométrique est subhorizontale.

Deux conditions d'application ne sont pas respectées. En effet, le forage ne capte pas la totalité de l'aquifère. Le mur du Trias n'a pas été atteint. De plus, la nappe n'est pas homogène et isotrope. L'aquifère est fissuré voir karstifié. La circulation d'eau se fait pas conséquent dans des directions privilégiées. Cependant, les connaissances de l'aquifère étant limitées, cette méthode donnera une approximation du complexe aquifère/ouvrage, les caractéristiques correspondant aux caractéristiques moyennes de l'aquifère.

La perte de charge linéaire BQ est due à l'écoulement laminaire. Elle dépend des caractéristiques de l'aquifère et de l'équipement du forage. La perte de charge quadratique CQ<sup>2</sup> est due à l'écoulement turbulent.

Les paramètres B et C sont définis à partir de l'équation de la courbe du rabattement en fonction du débit (**figure**). Les pertes de charges sont représentées sur ces figures. La droite rose représente les pertes de charges linéaires (s = BQ).

L'ensemble des données sont présentées dans le **tableau 6**.

**Tableau 6 : Tableau récapitulatif de l'interprétation des essais par paliers**

Q (m <sup>3</sup> /h)	Niveau/rep (m)	s (m)	Remarque	Q/s	s/Q	BQ	CQ <sup>2</sup>	BQ+CQ <sup>2</sup>	% CQ <sup>2</sup>
0	0.15	0	déborde			0.00	0.00	0.00	
16.7	3.12	2.97		5.62	0.18	1.72	1.44	3.16	45%
40.9	13.11	12.96		3.16	0.32	4.22	8.63	12.85	67%
58.9	24.15	24		2.45	0.41	6.08	17.89	23.97	75%
76.9	38.545	38.395		2.00	0.50	7.94	30.49	38.43	79%

Les pertes de charge quadratiques apparaissent importantes. Elles correspondent à plus de 50% des pertes de charge totales dès 20 m<sup>3</sup>/h et à près de 80% à 77 m<sup>3</sup>/h.



Figure 2 : Profondeur de l'eau lors des essais de pompage

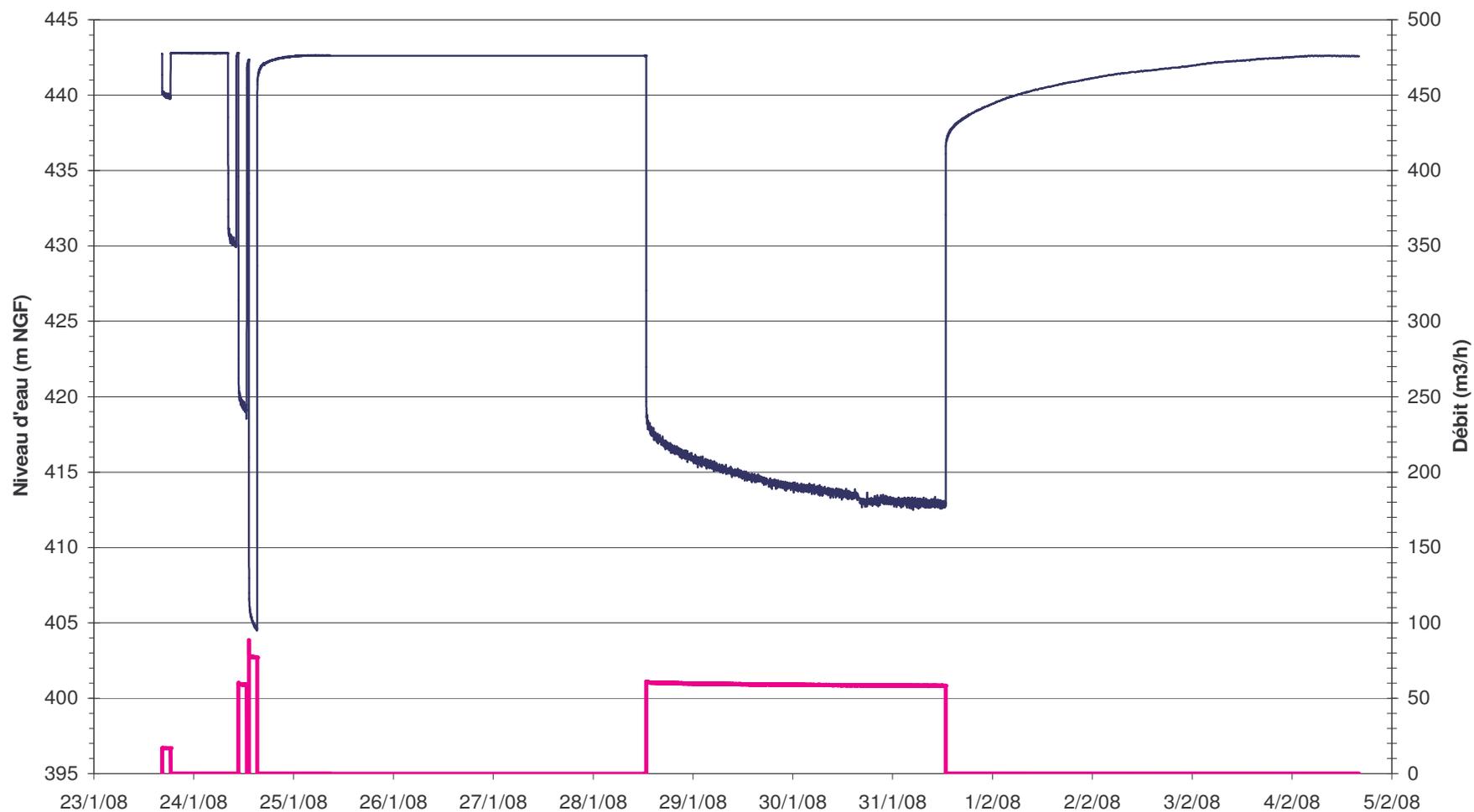


Figure 3 : Cote NGF de l'eau lors des essais de pompage

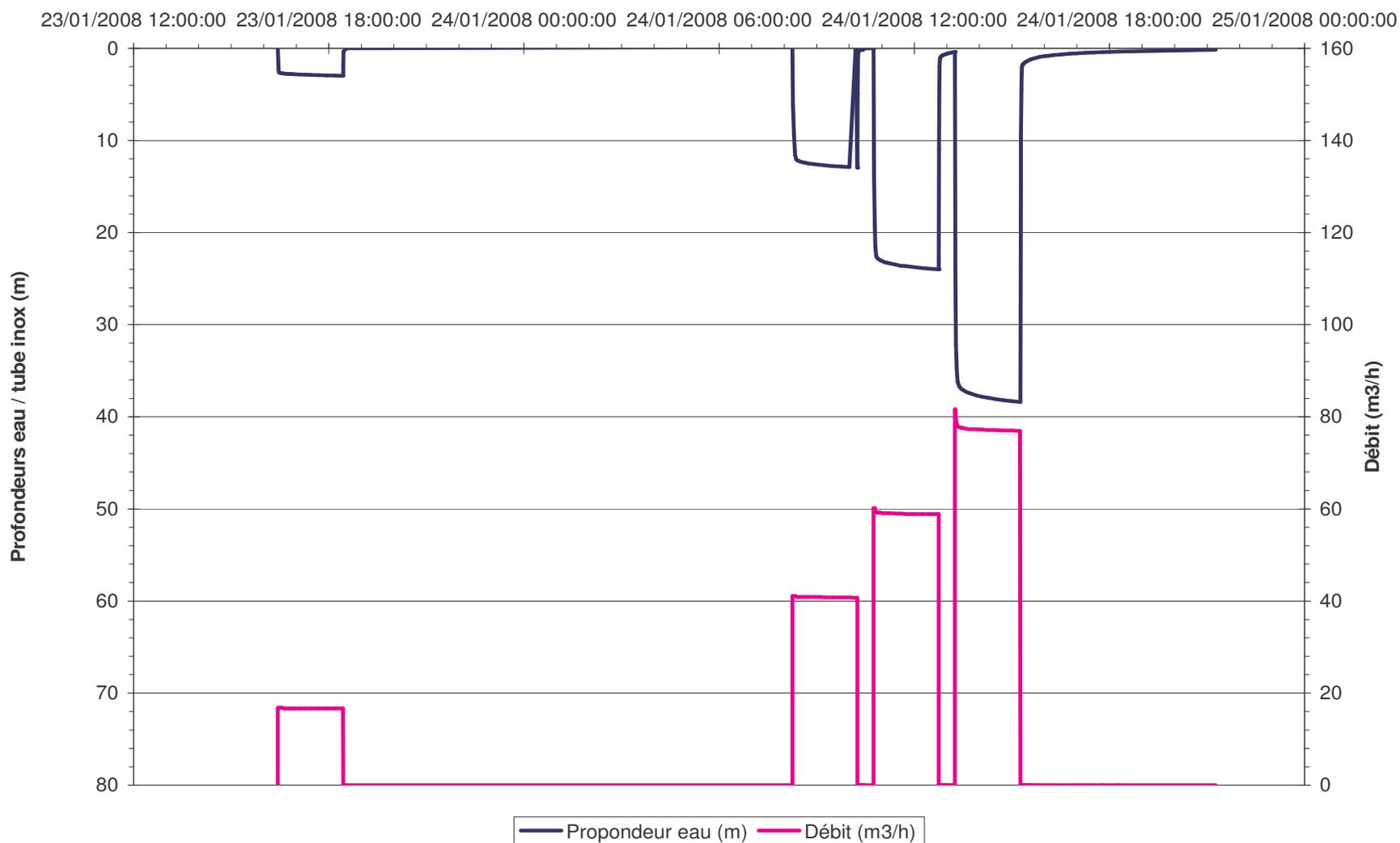


Figure 4 : Profondeurs de l'eau lors des essais par paliers

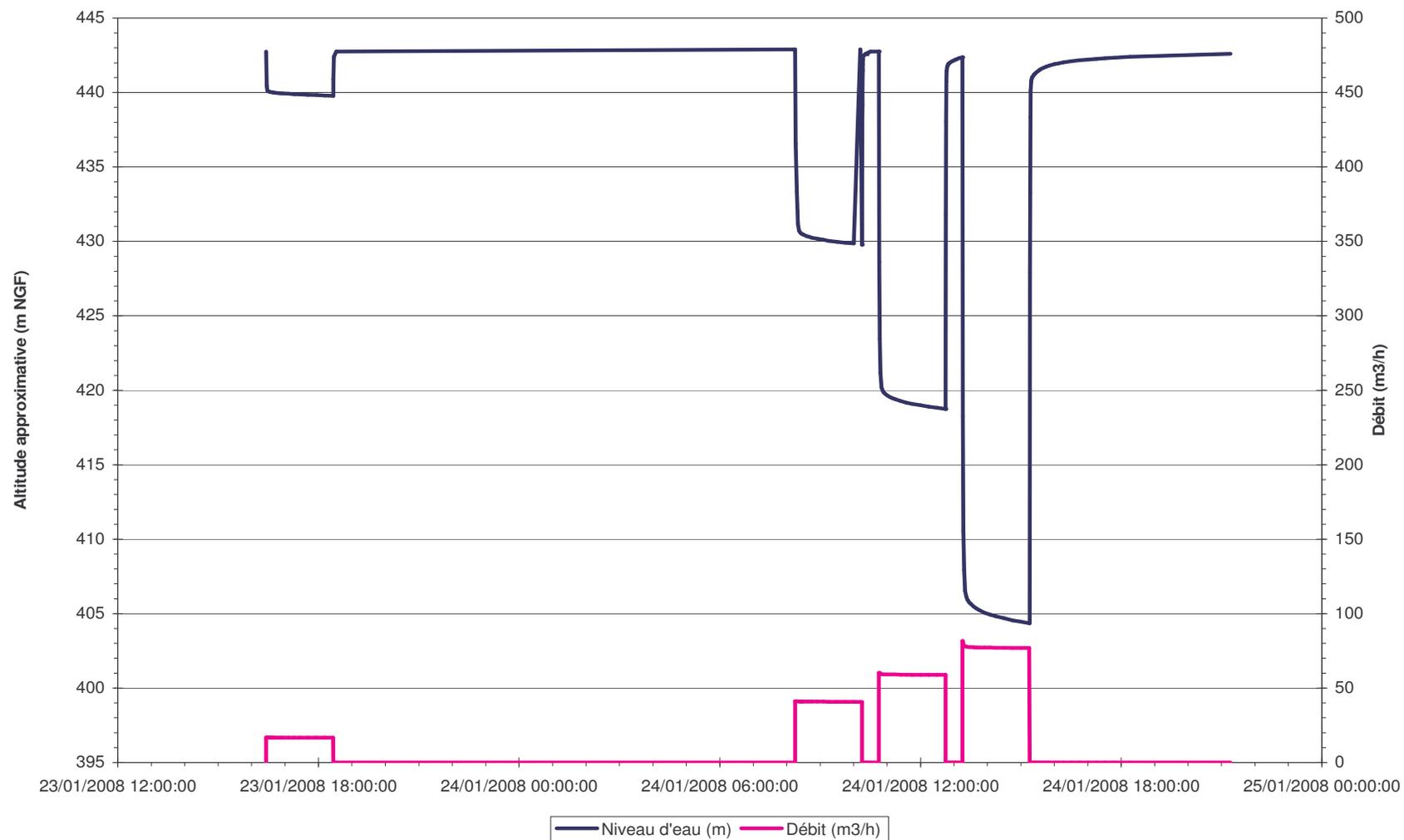


Figure 5 : Cote NGF l'eau lors des essais par paliers

## 4.2 – POMPAGE D'ESSAI DE LONGUE DUREE

### 4.2.1 – Buts

Le pompage d'essai longue durée a trois buts principaux :

- déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité, coefficient d'emmagasinement),
- étudier quantitativement les caractéristiques de l'aquifère (conditions aux limites...),
- observer l'effet de l'exploitation sur l'aquifère (prévision de l'évolution du rabattement en fonction du débit pompé, évaluation de la ressource en eau exploitable).

L'essai longue durée s'est déroulé du 28/01/2008 12:45 au 31/01/2008 12:45, soit sur 72 h à un débit moyen de 60 m<sup>3</sup>/h.

Les profondeurs et cotes NGF en fonction du temps sont présentés sur les **figures 2 et 3**. Les données manuelles et automatiques sont présentées en **Annexe 3**.

La courbe présentant le rabattement en fonction du log du temps depuis la mise en route du pompage permet de calculer la transmissivité (paramètre régissant le flux d'eau qui s'écoule dans l'aquifère).

$$T = 0,183 Q / c$$

avec :

Q : le débit d'exploitation (60 m<sup>3</sup>/h),

c : variation du rabattement sur un module logarithmique

La transmissivité calculée correspond à une transmissivité moyenne de la zone captée.

### 4.2.2 – Rabattements

L'essai de pompage longue durée a débuté le 28 janvier à 12h45. Le remontée a été suivie à partir du 31 janvier à 12h45.

- Le rabattement est quasi instantané dans les 1<sup>er</sup> minutes du pompage (17 m en 1 minutes). La descente se stabilise au bout de 4 minutes à 417 m NGF soit un rabattement de 24 m,
- au bout de 72h de pompage, le rabattement était de 30 m. Le niveau semblait se stabiliser (2 cm en 1 heure de pompage),
- la remontée se fait en deux étapes :
  - remontée brutale du niveau (19 m en 1 minute),
  - remontée beaucoup plus lente (3 cm par ½ heure environ). Le niveau est redevenu artésien le 4/01/2008 à 4h30 soit 88 h après l'arrêt total des pompes.

### 4.2.3 – Descente

La courbe de descente présente les profondeurs en fonction du log du temps de pompage. Trois parties sont différenciées :

- 0 à 300 s : le niveau chute de 0 à 24,25 m. Cette partie correspond à l'effet de capacité du forage, c'est-à-dire à la vidange de la colonne de captage, sans sollicitation de la nappe.
- 300 à 7000 s (5 min à 2 h environ) : la pente de la courbe diminue. Les profondeurs s'alignent grosso modo suivant une droite.
- 7000 à 50 000 s (2 h à 14 h de pompage) : la pente de la courbe augmente puis les points s'alignent sur une droite entre 50 000 s et 260 000 s (14 h à 72 h de pompage)

La rupture de pente observée sur la courbe de Jacob semble être due, en première approche, à une variation des paramètres hydrodynamiques de la nappe (changement de faciès), passant d'un milieu de bonnes caractéristiques à un milieu de caractéristiques moins bonnes.

La courbe de Jacob permet ainsi de calculer 2 valeurs de transmissivité correspondant aux 2 pentes :  $T1 = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $T2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### 4.2.4 – Remontée

La courbe de remontée présente la profondeur de l'eau en fonction de  $(t+t')/t'$ , avec  $t$  le temps depuis le lancement du pompage et  $t'$  le temps depuis l'arrêt de la pompe. Le début de la remontée correspond aux valeurs de  $(t+t')/t'$  les plus élevées. Trois parties sont également différenciées :

- de  $(t+t')/t' = 14\,400$  à  $1\,500$  (0 à 3 min de remontée) : le niveau remonte rapidement. Cette remontée correspond à l'effet de capacité du puits (annulation des pertes de charge quadratiques en partie)
- de  $(t+t')/t' = 1\,500$  à  $150$  (3 min à 45 min de remontée) : la pente de la courbe diminue et les points s'alignent grosso modo sur une droite.
- de  $(t+t')/t' = 150$  à  $3,5$  (45 min à 48 h de remontée) : la pente de la courbe augmente puis les niveaux semblent s'aligner sur une droite entre  $3,5$  et  $2,7$  (entre 48h et 93h de remontée).

La courbe de Jacob permet ainsi de calculer 2 valeurs de transmissivité correspondant aux 2 pentes :  $T3 = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $T4 = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### 4.3 – SYNTHÈSE SUR LES PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES

Les essais longue durée ont permis de déterminer 2 valeurs de transmissivité à la descente et 2 valeurs de transmissivité à la remontée. Ces 2 valeurs peuvent correspondre à 2 aquifères de caractéristiques différentes qui seraient sollicités. Les valeurs calculées sont récapitulées dans le tableau suivant.

**Tableau 7 : Valeurs des transmissivités calculées**

	Temps	Transmissivité
<b>Descente</b>	5 min – 2h	3,4.10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /s
	14 h – 72 h	1.10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /s
<b>Remontée</b>	3 min – 45 min	4,7.10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> /s
	48 h – 93 h	2,8.10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s

Les valeurs calculées à la descente sont plus élevées que celles calculées à la remontée.

Le coefficient d'emmagasinement de la nappe n'a pu être calculé ne disposant pas de piézomètre.

### 4.4 – CONCLUSION SUR LES POMPAGES

Les essais réalisés sur le forage ont permis de mettre en évidence une assez bonne productivité du forage.

Le rabattement stabilisé pour un débit de pompage de 50 m<sup>3</sup>/h est de 30 m soit la cote NGF de 412,75 m. D'après les simulations effectuées, en pompant 24 h en continu à ce débit, la pompe ne sera jamais dénoyée.

Par contre, la remontée du niveau après arrêt des pompes est très faible démontrant une faible réalimentation du forage.

La transmissivité de l'aquifère est bonne (de l'ordre de 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s). Cependant les pertes de charge quadratique sont élevées malgré le fait que le forage soit exploité en trou nu. Ces pertes de charge quadratique sont sans doute à mettre en relation avec le fait que les fissures de l'aquifère soient étroites impliquant des vitesses d'arrivée d'eau élevées.

L'impact des prélèvements dans le forage sur la source de Tendigues sera évalué grâce au suivi de débit réalisé par le Parc Naturel Régional des Grands Causses.

Des essais de très longue durée devront être réalisés pour déterminer l'impact à plus long terme d'une exploitation sur la ressource en eau.

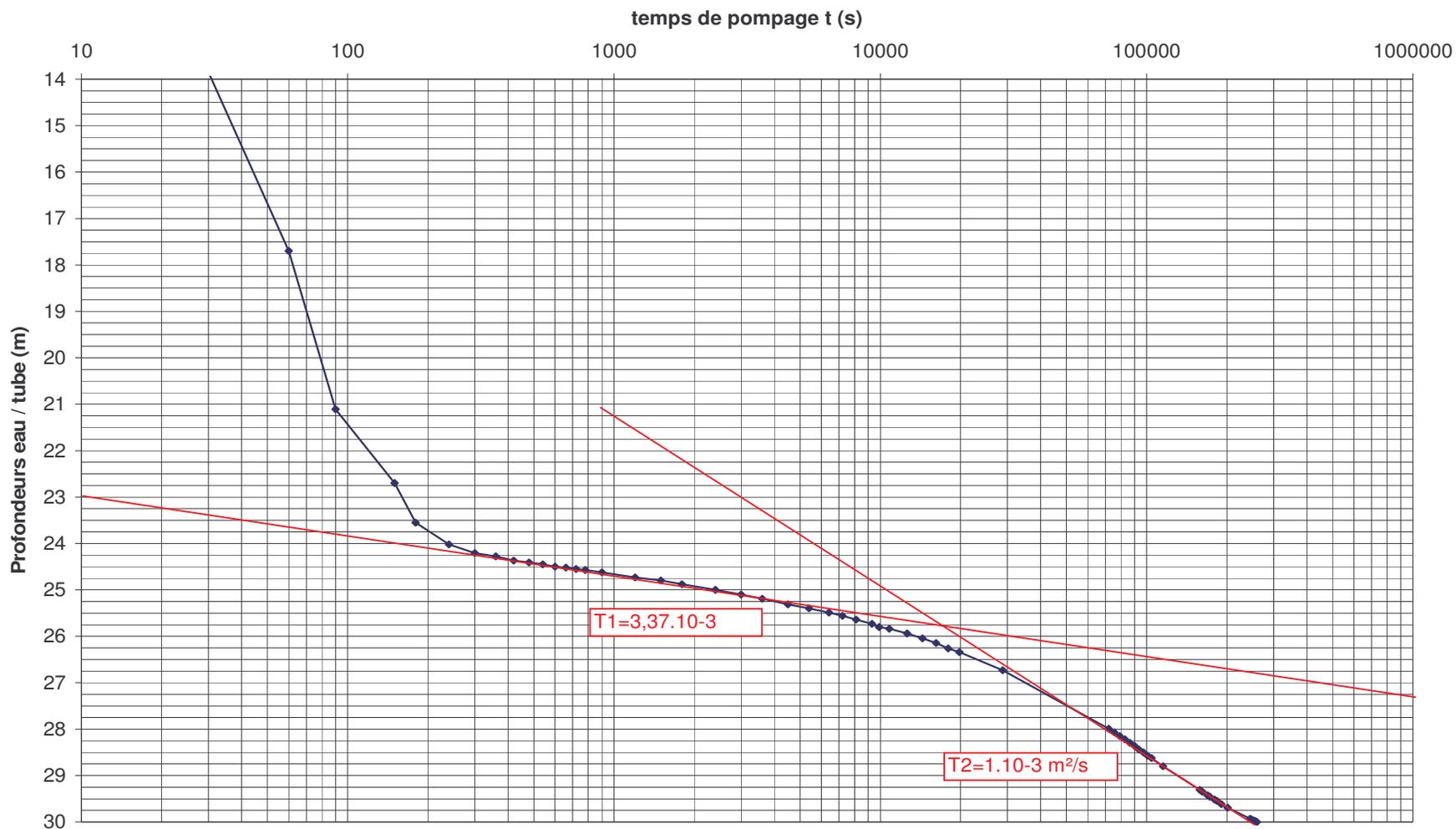


Figure 6 : Evolution de la profondeur de l'eau en fonction du temps de pompage lors de la descente

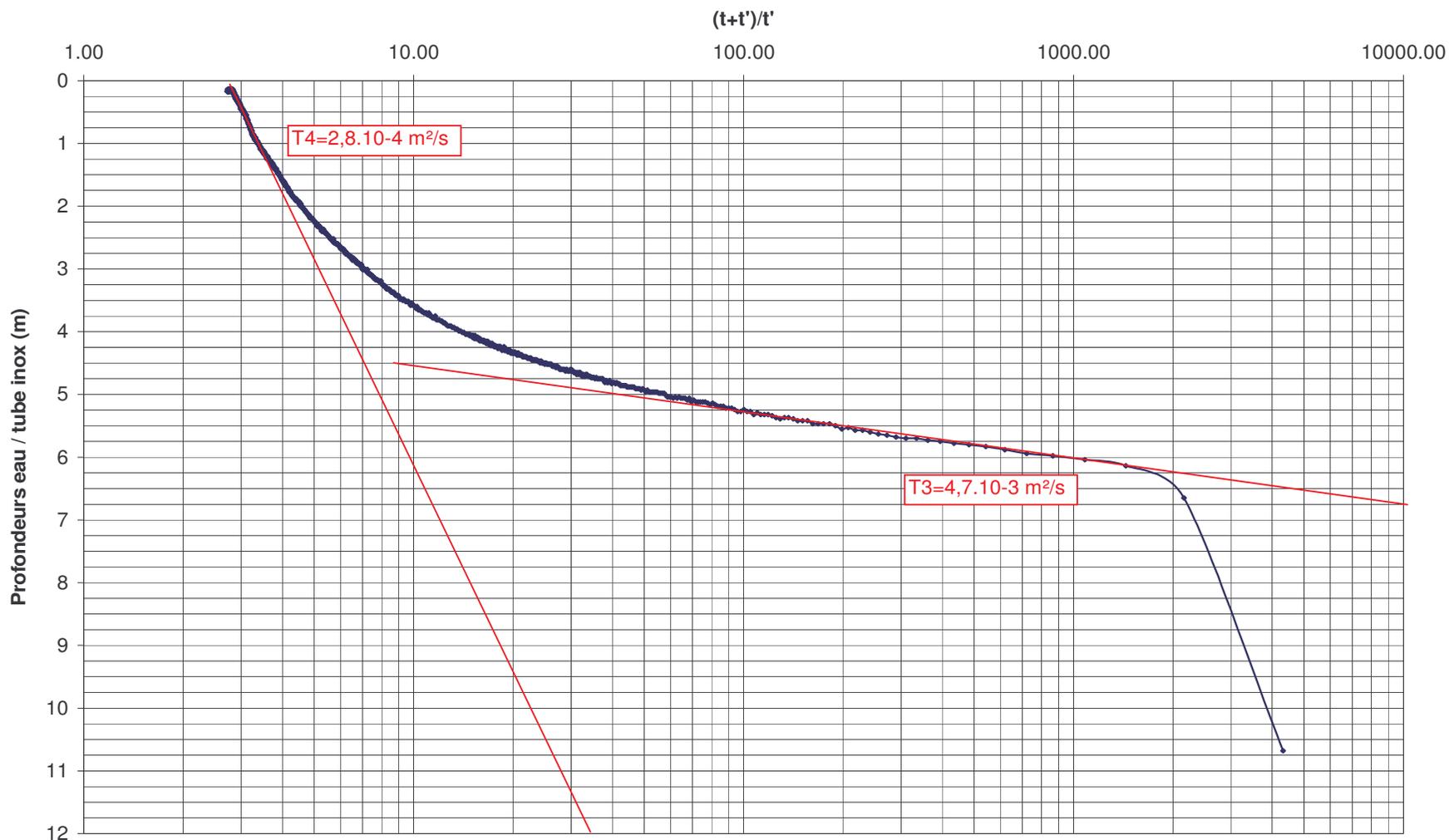
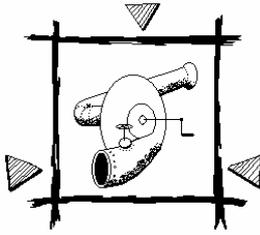


Figure 7 : Evolution de la profondeur de l'eau en fonction de  $(t+t')/t'$  lors de la remontée



## 5 – QUALITE DE L'EAU

Une analyse sommaire a été effectuée par le Laboratoire Départemental de l'Aveyron (12031 RODEZ) le 31/01/2008 à 9 :00 soit 3h45 avant l'arrêt de l'essai « longue durée ».

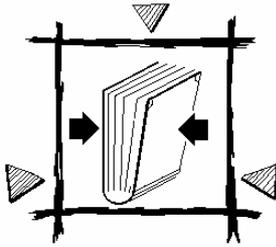
Les paramètres analysés étaient les suivants :

- Température, pH in situ,
- Paramètres microbiologiques (bactéries revivifiables, coliformes, Escherichia Coli, entérocoques et spores sulfite-réductrices),
- Turbidité,
- Equilibre calco-carbonique (TA, TAC, HCO<sub>3</sub>),
- Minéralisation (Sulfates, Sodium, Silice, Calcium, Magnésium, Potassium, Résidu Sec, Chlorures),
- Métaux lourds (Fer total, Manganèse, Aluminium, Cuivre, Zinc, Fluorures),
- Matières organiques (indice Permanganate),
- Paramètres Azotés et Phosphorés (NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, P<sub>t</sub>),

Les résultats des analyses sont fournis en Annexe 4.

On note les éléments suivants :

- L'eau a une température élevée (16.1 °C) avec un pH proche de la neutralité (6,98),
- Les eaux sont exemptes de pollution bactérienne. On note quelques germes de bactéries revivifiables. Leur présence est difficile à expliquer dans ce contexte de nappe profonde.
- L'eau présente un léger trouble (4.3 NTU),
- La minéralisation de l'eau est très importante avec 1,164 g de Sulfates (norme « eau potable » à 250 mg/l) et un résidu sec très important de 2,1 g/l,
- L'eau est exempte de matière organique, azotée ou phosphorée,
- Le fer est présent en quantité importante (611 µg/l soit 6 fois supérieur à la norme 200 µg/l),
- Le Fluorure (1,7 mg/l) est légèrement supérieur à la norme (1,5 mg/l).



## 6 – CONCLUSION

Le forage de reconnaissance F1 réalisé au lieu-dit « Tendigues » à ROQUEFORT capte la nappe profonde et captive contenue dans les formations carbonatées du Sinémurien – Hettangien. Il a été arrêté à la profondeur de - 178 m soit 2 m par rapport à la profondeur initialement prévue (180 m).

Le forage est équipé d'un tube PVC 160 x 180 mm suspendu jusqu'à - 55 m par rapport au sol. En surface, deux tubes acier cimentés protègent efficacement la nappe captée des venues d'eau superficielle contenues dans les colluvions de surface et des eaux de ruissellement. L'un des tubes est ancré de 5 m dans les marno-calcaires du Carixien. Le forage est fermé par un capot de protection muni d'une vanne d'arrêt.

Les principales arrivées d'eau sont localisées entre 150 et 164 m et produisent 66 % du débit exploitable au captage. Le forage est artésien à 7,2 m<sup>3</sup>/h.

La productivité de l'ouvrage est bonne. Ainsi au débit de 50 m<sup>3</sup>/h, le rabattement stabilisé au bout de 72 h est de 30 m soit 25 m au dessus du niveau de positionnement de la pompe.

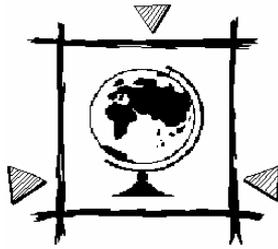
Le problème réside cependant dans la qualité des eaux pompées qui sont très minéralisées (autour de 2 000 µS/cm) et qui contiennent des teneurs en Sulfates (1,16 g/l) et en Fer (611 µg/l) supérieures aux normes de potabilité.

Un traitement lourd des eaux ou une simple dilution avec les eaux de Tendigues s'imposent. D'après les 1<sup>er</sup> calculs, un mélange de 20 % d'eau du forage et 80 % d'eau de Tendigues permettrait d'être en dessous du seuil de potabilité, notamment en ce qui concerne les Sulfates, paramètre le plus pénalisant.

Sur l'aspect qualitatif, il est important de vérifier :

- la faisabilité technico-économique du traitement du Sulfate et du Fer,
- les possibilités de dilution avec l'eau de Tendigues avec modélisation physico-chimique qui permet de simuler le comportement des eaux vis-à-vis des principales minérales susceptibles de précipiter (notamment le Fer et Manganèse).

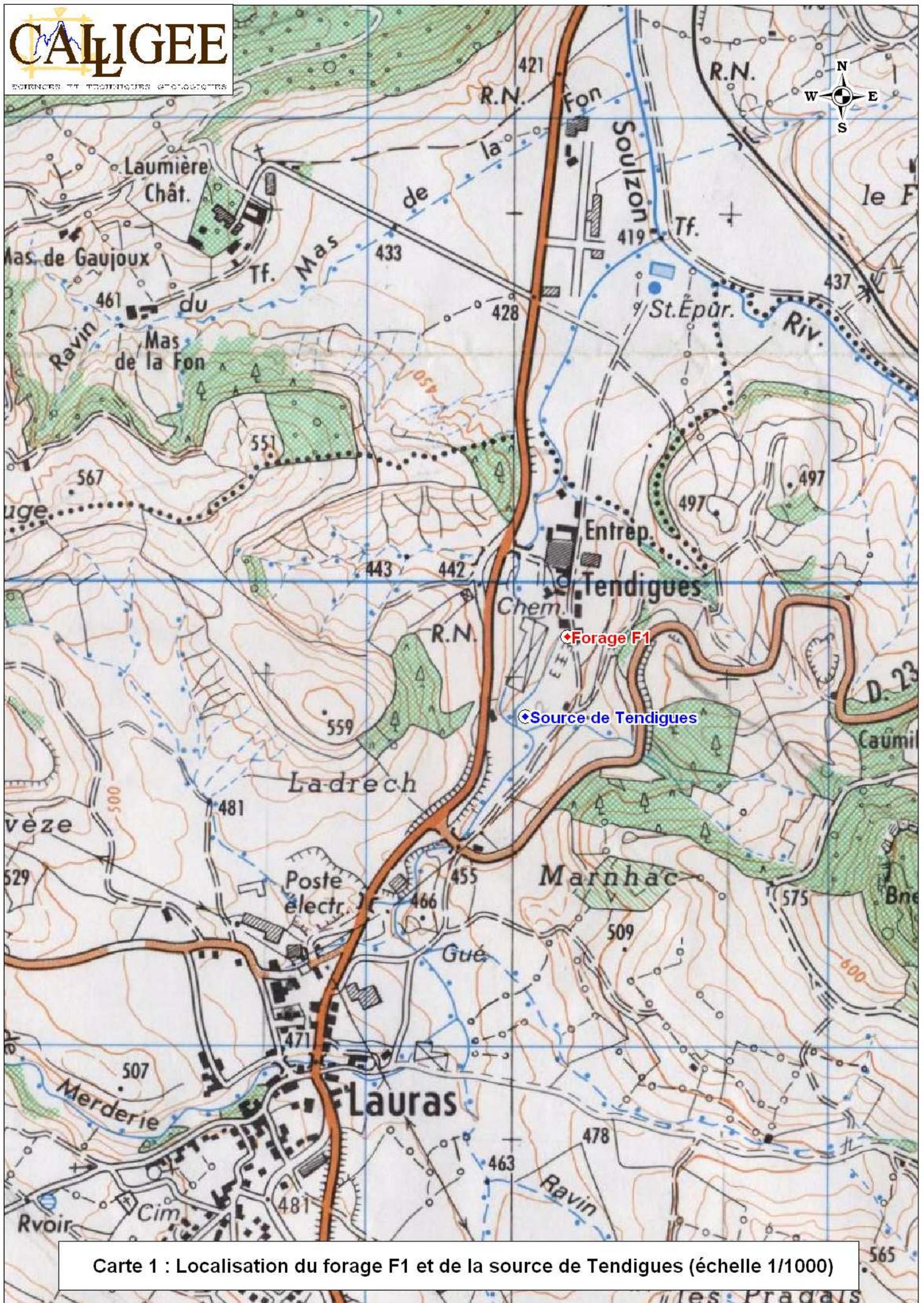
Sur l'aspect quantitatif, le forage devra être testé par pompage sur une période de longue durée (6 mois). Il est prévu dans ce cadre de suivre en continu les variations de la turbidité des eaux pompées.



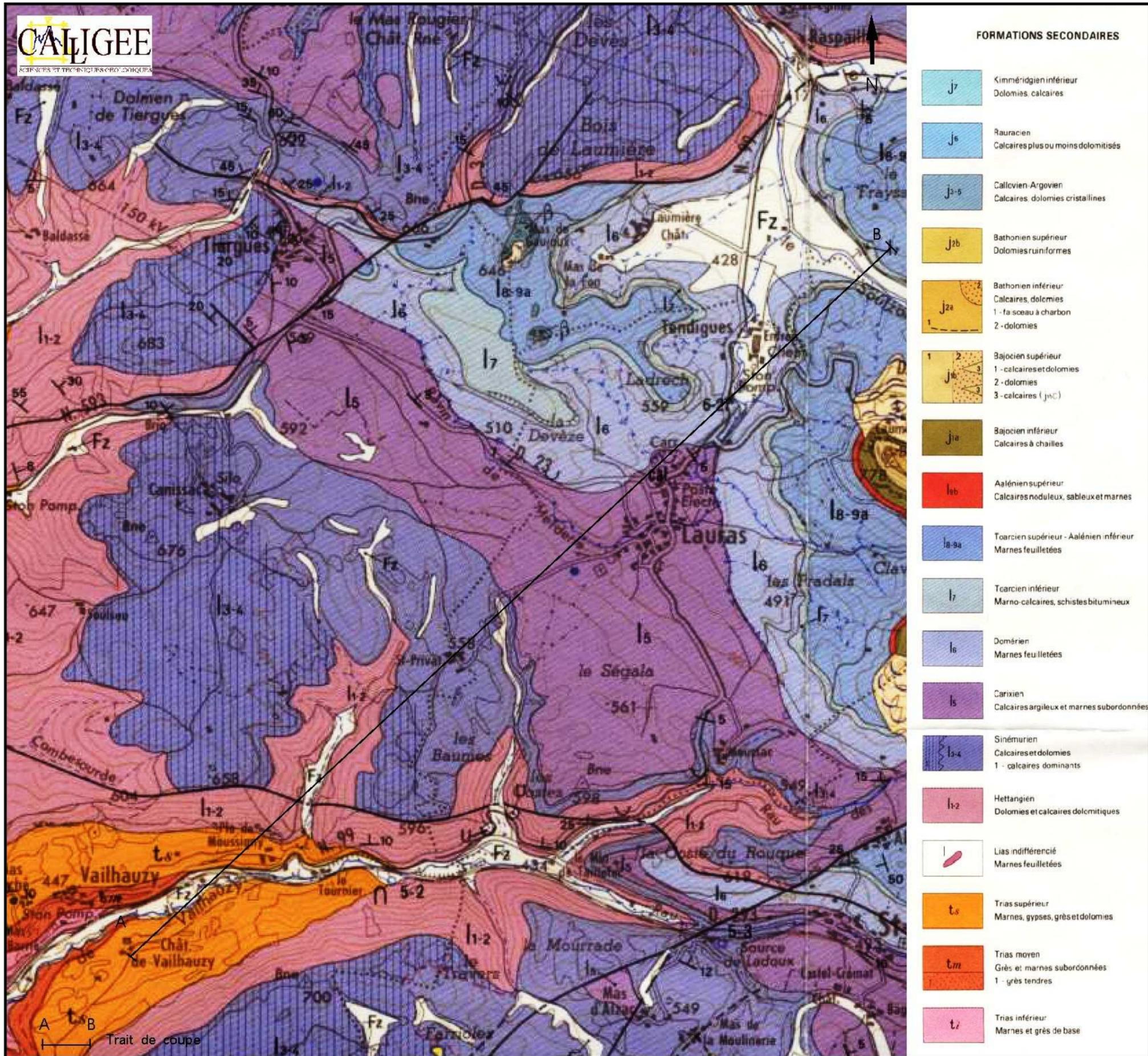
## CARTES

### LISTE DES CARTES

Carte 1 : Localisation du forage de Tendigues (carte IGN au 1/1000).....	31
Carte 2 : Extrait de la carte géologique du BRGM au 1/25 000 .....	32



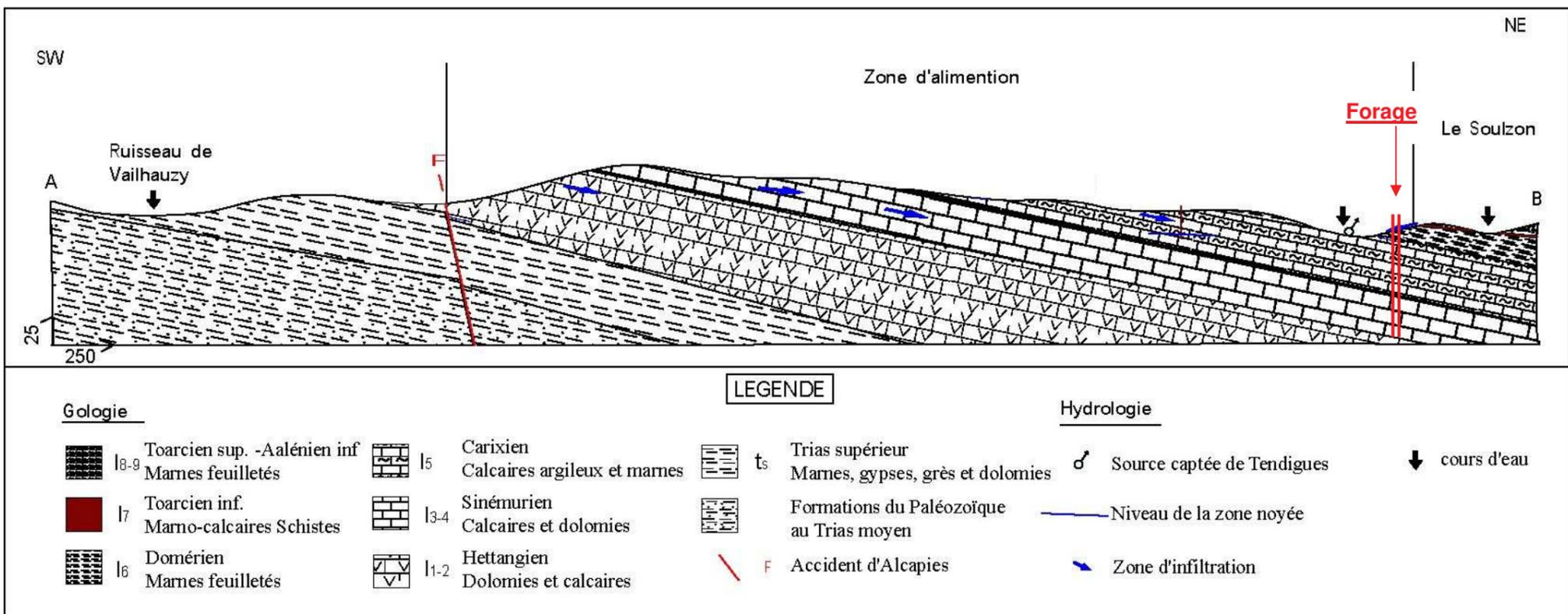
Carte 1 : Localisation du forage F1 et de la source de Tendigues (échelle 1/1000)



**FORMATIONS SECONDAIRES**

J7	Kiméridgien inférieur Dolomies calcaires
J6	Rauracien Calcaires plus ou moins dolomités
J3-5	Callovien-Argovien Calcaires, dolomies cristallines
J2b	Bathonien supérieur Dolomies ruiformes
J2a	Bathonien inférieur 1 - calcaires, dolomies 2 - dolomies 3 - calcaires (J2c)
J1b	Bajocien supérieur 1 - calcaires et dolomies 2 - dolomies 3 - calcaires (J1c)
J1a	Bajocien inférieur Calcaires à chailles
l8b	Aalénien supérieur Calcaires noduleux, sableux et marnes
l8-9a	Toarcien supérieur - Aalénien inférieur Marnes feuilletées
l7	Toarcien inférieur Marno-calcaires, schistes bitumineux
l6	Domérien Marnes feuilletées
l5	Carixien Calcaires argileux et marnes subordonnées
l3-4	Sinémurien Calcaires et dolomies 1 - calcaires dominants
l1-2	Hettangien Dolomies et calcaires dolomitiques
l	Lias indifférencié Marnes feuilletées
t3	Trias supérieur Marnes, gypses, grès et dolomies
tM	Trias moyen Grès et marnes subordonnées 1 - grès tendres
t1	Trias inférieur Marnes et grès de base

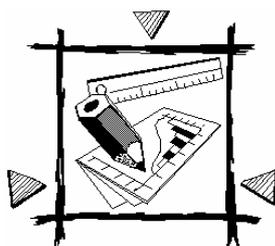
Carte 1 : Localisation au 1/25 000 de la coupe géologique NE-SW de St Affrique (château de Vailhauzy) à Tendigues d'après la carte géologique de Millau n°935 (Mennessier G., 1984)



**LEGENDE**

Gologie		Hydrologie	
l8-9	Toarcien sup. -Aalénien inf Marnes feuilletés	t3	Trias supérieur Marnes, gypses, grès et dolomies
l7	Toarcien inf. Marno-calcaires Schistes	F	Accident d'Alcapies
l6	Domérien Marnes feuilletés	♂	Source captée de Tendigues
l5	Carixien Calcaires argileux et marnes	—	Niveau de la zone noyée
l3-4	Sinémurien Calcaires et dolomies	—	Zone d'infiltration
l1-2	Hettangien Dolomies et calcaires	↓	cours d'eau

Coupe géologique NE-SW de Saint-Affrique à Tendigues



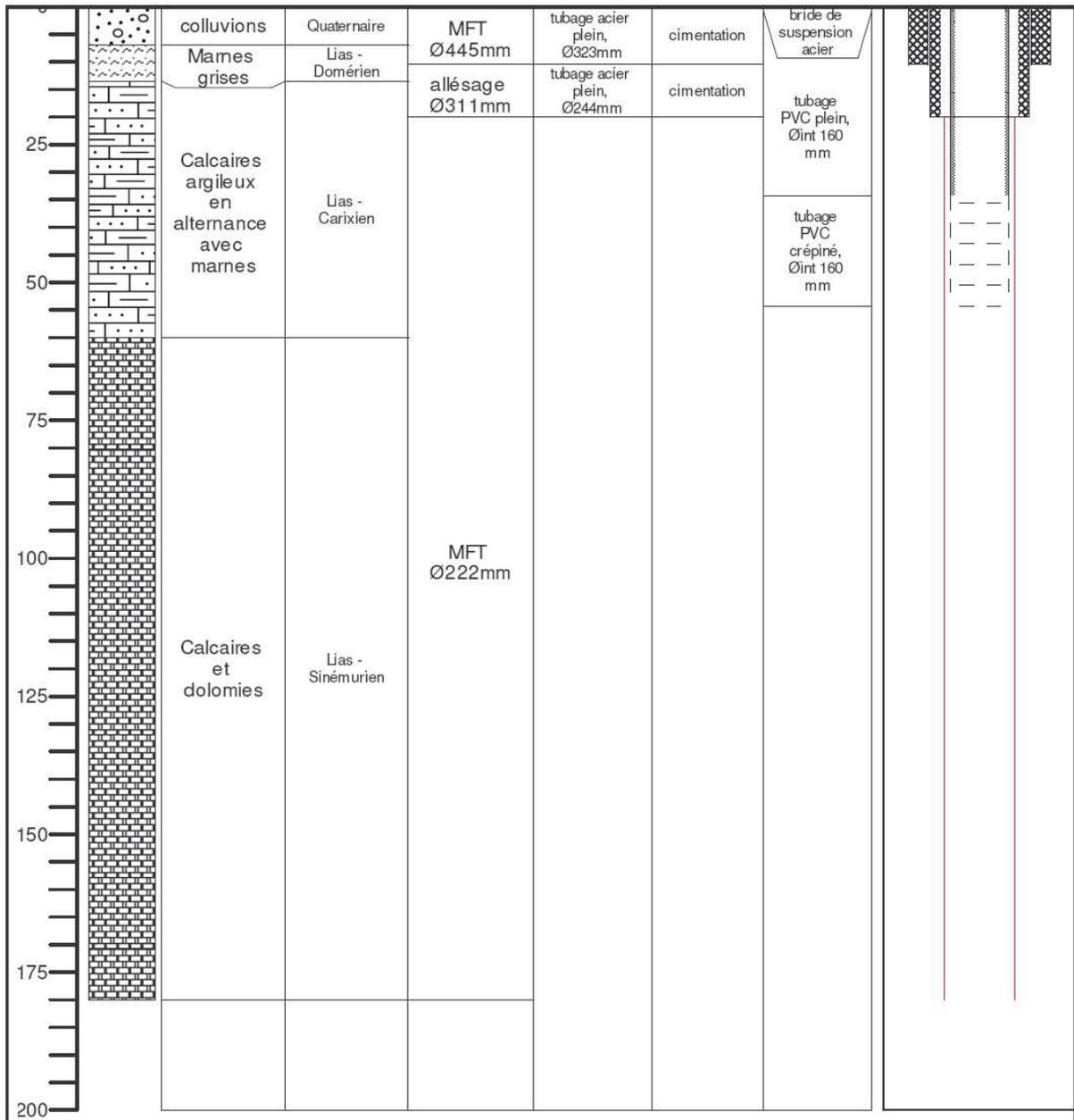
## ANNEXES

Annexe 1 : Coupe géologique et technique du forage .....	34
Annexe 2 : Rapport de réception d'ouvrage (HYDRO ASSISTANCE).....	36
Annexe 3 : Données sur les essais de pompage .....	38
Annexe 4 : Résultats de l'analyse des eaux brutes après l'essai de pompage « longue durée » .....	42

## Annexe 1 : Coupe géologique et technique du forage

<b>Nom :</b> F1	<b>Localisation</b> Coordonnées : Lambert III X : Y : Z : 402 m NGF	Maître d'ouvrage : Mairie de Roquefort  Société de forage : MASSE  Date de réalisation : décembre 2007  Usage : AEP
Commune : Roquefort		
Lieu-dit : Tendigues		

Profondeur en (m)	Lithologie	Description lithologique stratigraphie	Foration	Equipement	Coupe Technique
-------------------	------------	--	----------	------------	-----------------



	Niveau statique (m)	Date
	artésien	0,36 le 20/12/2007 fin de foration après repos une nuit 3,2 m3/h le 23/01/2008 avant pompages par paliers 2,2 m3/h le 28/01/2008 avant pompage longue durée

**Annexe 2 : Rapport de réception d'ouvrage  
(HYDRO ASSISTANCE)**

voir fichier .pdf

## Annexe 3 : Données sur les essais de pompage

Remarque	Date heure	temps en min	temps t s	Temps t'	(t+t')/t'	mesure/guide sonde en m	mesure/tube m	eau (m NGF) 442.9	débit en m3/h	conductivité en µS/cm	température en °C
	23/01/2008 16:26:08	0				0.15	0	442.75			
Palier 1	23/01/2008 16:27:08	1				2.47	2.32	440.43			
	23/01/2008 16:28:08	2				2.75	2.6	440.15			
	23/01/2008 16:29:08	3				2.81	2.66	440.09	16.8		
	23/01/2008 16:31:08	5				2.84	2.69	440.06	16.8		
	23/01/2008 16:33:08	7				2.86	2.71	440.04			
	23/01/2008 16:35:08	9				2.87	2.72	440.03			
	23/01/2008 16:37:08	11				2.88	2.73	440.02	16.7		
	23/01/2008 16:39:08	13				2.9	2.75	440			
	23/01/2008 16:41:08	15				2.91	2.76	439.99	16.7		
	23/01/2008 16:46:08	20				2.93	2.78	439.97			
	23/01/2008 16:51:08	25				2.94	2.79	439.96			
	23/01/2008 16:56:08	30				2.96	2.81	439.94	16.7		
	23/01/2008 17:06:08	40				2.98	2.83	439.92			
	23/01/2008 17:16:08	50				3.01	2.86	439.89			
	23/01/2008 17:26:08	60				3.03	2.88	439.87	16.7		
	23/01/2008 17:41:08	75				3.05	2.9	439.85			
	23/01/2008 17:56:08	90				3.07	2.92	439.83	16.7		
	23/01/2008 18:11:08	105				3.095	2.945	439.805			
	23/01/2008 18:26:08	120				3.12	2.97	439.78	16.7		
Remontée palier 1	23/01/2008 18:26:40	0				3.12	2.97	439.78	0		
	23/01/2008 18:26:50	0				2	1.85	440.9	0		
	23/01/2008 18:27:25	1				0.5	0.35	442.4	0		
	23/01/2008 18:32:00	5				0.15	0	442.75	0		
Palier 2	24/01/2008 08:15:07	0				0	-0.15	442.9			
	24/01/2008 08:16:07	1				6.34	6.19	436.56			
	24/01/2008 08:17:07	2				7.82	7.67	435.08			
	24/01/2008 08:18:07	3				9.58	9.43	433.32			
	24/01/2008 08:20:07	5				11.74	11.59	431.16	41.1		
	24/01/2008 08:22:07	7				12.2	12.05	430.7	41		
	24/01/2008 08:24:07	9				12.3	12.15	430.6	40.9		
	24/01/2008 08:26:07	11				12.36	12.21	430.54			
	24/01/2008 08:28:07	13				12.41	12.26	430.49			
	24/01/2008 08:30:07	15				12.45	12.3	430.45			
	24/01/2008 08:35:07	20				12.54	12.39	430.36			
	24/01/2008 08:40:07	25				12.59	12.44	430.31			
	24/01/2008 08:45:07	30				12.66	12.51	430.24			
	24/01/2008 08:55:07	40				12.72	12.57	430.18			
	24/01/2008 09:05:07	50				12.78	12.63	430.12			
	24/01/2008 09:15:07	60				12.86	12.71	430.04	40.8		
	24/01/2008 09:30:07	75				12.93	12.78	429.97			
	24/01/2008 09:45:07	90				12.99	12.84	429.91			
	24/01/2008 10:00:07	105				13.04	12.89	429.86			
	24/01/2008 10:12:07	117				13.09	12.94	429.81	40.7	2330	17.1
	24/01/2008 10:15:07	120				13.11	12.96	429.79			
Remontée palier 2	24/01/2008 10:15:08	0				13.11	12.96	429.79	0		
	24/01/2008 10:15:38	1				5.02	4.87	437.88	0		
	24/01/2008 10:15:48	1				3.75	3.6	439.15	0		
	24/01/2008 10:15:58	1				2.36	2.21	440.54	0		
	24/01/2008 10:16:13	1				1.4	1.25	441.5	0		
	24/01/2008 10:16:23	1				1.03	0.88	441.87	0		
	24/01/2008 10:16:38	2				0.7	0.55	442.2	0		
	24/01/2008 10:16:58	2				0.55	0.4	442.35	0		
	24/01/2008 10:17:08	2				0.49	0.34	442.41	0		
	24/01/2008 10:17:23	2				0.45	0.3	442.45	0		
	24/01/2008 10:17:38	3				0.42	0.27	442.48	0		
	24/01/2008 10:18:08	3				0.41	0.26	442.49	0		
	24/01/2008 10:18:38	4				0.39	0.24	442.51	0		
	24/01/2008 10:19:08	4				0.375	0.225	442.525	0		
	24/01/2008 10:20:08	5				0.35	0.2	442.55	0		
	24/01/2008 10:21:08	6				0.315	0.165	442.585	0		
	24/01/2008 10:22:08	7				0.295	0.145	442.605	0		
	24/01/2008 10:23:08	8				0.275	0.125	442.625	0		
	24/01/2008 10:24:08	9				0.25	0.1	442.65	0		
	24/01/2008 10:25:08	10				0.33	0.18	442.57	0		
	24/01/2008 10:26:08	11				0.215	0.065	442.685	0		
	24/01/2008 10:30:08	15				0.15	0	442.75	0		

Remarque	Date heure	temps en min	temps t s	Temps t'	(t+t')/t'	mesure/guide sonde en m	mesure/tube m	eau (m NGF) 442.9	débit en m3/h	conductivité en µS/cm	température en °c
Palier 3	24/01/2008 10:45:00	0				0.15	0	442.75			
	24/01/2008 10:46:00	1				14.28	14.13	428.62			
	24/01/2008 10:47:00	2				19.45	19.3	423.45	60.2		
	24/01/2008 10:48:00	3				21.73	21.58	421.17	59.6		
	24/01/2008 10:50:00	5				22.71	22.56	420.19	59.3		
	24/01/2008 10:52:00	7				22.93	22.78	419.97	59.2		
	24/01/2008 10:54:00	9				23.03	22.88	419.87	59.2		
	24/01/2008 10:56:00	11				23.11	22.96	419.79	59.2		
	24/01/2008 10:58:00	13				23.17	23.02	419.73	59.2		
	24/01/2008 11:00:00	15				23.23	23.08	419.67	59.1		
	24/01/2008 11:05:00	20				23.36	23.21	419.54	59.1		
	24/01/2008 11:10:00	25				23.43	23.28	419.47	59.1		
	24/01/2008 11:15:00	30				23.5	23.35	419.4	59.1		
	24/01/2008 11:25:00	40				23.63	23.48	419.27	59		
	24/01/2008 11:35:00	50				23.74	23.59	419.16	59	2290	17.3
	24/01/2008 11:45:00	60				23.81	23.66	419.09	58.9		
	24/01/2008 12:00:00	75				23.91	23.76	418.99	58.9		
	24/01/2008 12:15:00	90				24	23.85	418.9	58.9		
	24/01/2008 12:30:00	105				24.08	23.93	418.82	58.9		
	24/01/2008 12:45:00	120				24.15	24	418.75	58.9	2270	17.3
Remontée palier 3	24/01/2008 12:45:00	0				24.15	24	418.75	0		
	24/01/2008 12:45:30	1				11.1	10.95	431.8	0		
	24/01/2008 12:46:00	1				4.86	4.71	438.04	0		
	24/01/2008 12:46:30	2				2.16	2.01	440.74	0		
	24/01/2008 12:47:00	2				1.45	1.3	441.45	0		
	24/01/2008 12:47:30	3				1.23	1.08	441.67	0		
	24/01/2008 12:48:00	3				1.15	1	441.75	0		
	24/01/2008 12:48:30	4				1.11	0.96	441.79	0		
	24/01/2008 12:49:00	4				1.08	0.93	441.82	0		
	24/01/2008 12:49:30	5				1.03	0.88	441.87	0		
	24/01/2008 12:50:00	5				0.985	0.835	441.915	0		
	24/01/2008 12:51:00	6				0.95	0.8	441.95	0		
	24/01/2008 12:52:00	7				0.92	0.77	441.98	0		
	24/01/2008 12:53:00	8				0.89	0.74	442.01	0		
	24/01/2008 12:54:00	9				0.855	0.705	442.045	0		
	24/01/2008 12:57:00	12				0.8	0.65	442.1	0		
	24/01/2008 12:59:00	14				0.76	0.61	442.14	0		
	24/01/2008 13:01:00	16				0.715	0.565	442.185	0		
	24/01/2008 13:03:00	18				0.68	0.53	442.22	0		
	24/01/2008 13:05:00	20				0.65	0.5	442.25	0		
	24/01/2008 13:10:00	25				0.585	0.435	442.315	0		
	24/01/2008 13:15:00	30				0.53	0.38	442.37	0		
Palier 4	24/01/2008 13:15:00	0				0.53	0.38	442.37			
	24/01/2008 13:16:00	1				24.65	24.5	418.25	81.6		
	24/01/2008 13:17:00	2				32.38	32.23	410.52	79.4		
	24/01/2008 13:18:00	3				34.98	34.83	407.92	78.5		
	24/01/2008 13:20:00	5				36.37	36.22	406.53	78		
	24/01/2008 13:22:00	7				36.75	36.6	406.15	77.8		
	24/01/2008 13:24:00	9				36.94	36.79	405.96	77.7		
	24/01/2008 13:26:00	11				37.07	36.92	405.83	77.6		
	24/01/2008 13:28:00	13				37.17	37.02	405.73	77.6		
	24/01/2008 13:30:00	15				37.24	37.09	405.66	77.5		
	24/01/2008 13:35:00	20				37.42	37.27	405.48	77.4		
	24/01/2008 13:40:00	25				37.54	37.39	405.36	77.3		
	24/01/2008 13:45:00	30				37.655	37.505	405.245	77.3		
	24/01/2008 13:55:00	40				37.84	37.69	405.06	77.3		
	24/01/2008 14:05:00	50				37.965	37.815	404.935	77.2		
	24/01/2008 14:15:00	60				38.07	37.92	404.83	77.1		
	24/01/2008 14:30:00	75				38.22	38.07	404.68	77.1		
	24/01/2008 14:45:00	90				38.35	38.2	404.55	77		
	24/01/2008 15:00:00	105				38.45	38.3	404.45	77		
	24/01/2008 15:15:00	120				38.545	38.395	404.355	76.9	2230	17.4
Remontée palier 4	24/01/2008 15:15:52	0				38.545	38.395	404.355	0		
	24/01/2008 15:16:32	1				15	14.85	427.9	0		
	24/01/2008 15:16:52	1				9.63	9.48	433.27	0		
	24/01/2008 15:17:22	2				4.57	4.42	438.33	0		
	24/01/2008 15:17:52	2				2.79	2.64	440.11	0		
	24/01/2008 15:18:22	3				2.2	2.05	440.7	0		
	24/01/2008 15:18:52	3				2.05	1.9	440.85	0		
	24/01/2008 15:19:22	4				1.97	1.82	440.93	0		
	24/01/2008 15:19:52	4				1.92	1.77	440.98	0		
	24/01/2008 15:20:22	5				1.88	1.73	441.02	0		
	24/01/2008 15:20:52	5				1.85	1.7	441.05	0		
	24/01/2008 15:21:52	6				1.79	1.64	441.11	0		
	24/01/2008 15:22:52	7				1.74	1.59	441.16	0		
	24/01/2008 15:23:52	8				1.69	1.54	441.21	0		
	24/01/2008 15:24:52	9				1.65	1.5	441.25	0		
	24/01/2008 15:25:52	10				1.61	1.46	441.29	0		
	24/01/2008 15:27:52	12				1.54	1.39	441.36	0		
	24/01/2008 15:29:52	14				1.48	1.33	441.42	0		
	24/01/2008 15:31:52	16				1.42	1.27	441.48	0		
	24/01/2008 15:33:52	18				1.37	1.22	441.53	0		
	24/01/2008 15:35:52	20				1.32	1.17	441.58	0		
	24/01/2008 15:40:52	25				1.24	1.09	441.66	0		
	24/01/2008 15:45:52	30				1.15	1	441.75	0		
	24/01/2008 15:50:52	35				1.09	0.94	441.81	0		
	24/01/2008 16:00:52	45				0.985	0.835	441.915	0		
	24/01/2008 16:05:52	50				0.95	0.8	441.95	0		
	24/01/2008 16:15:52	60				0.88	0.73	442.02	0		
	24/01/2008 16:30:52	75				0.8	0.65	442.1	0		
	24/01/2008 16:45:52	90				0.74	0.59	442.16	0		
	24/01/2008 17:00:52	105				0.685	0.535	442.215	0		
	24/01/2008 17:15:52	120				0.64	0.49	442.26	0		
	24/01/2008 17:30:52	135				0.598	0.448	442.302	0		
	24/01/2008 17:47:52	152				0.56	0.41	442.34	0		
	24/01/2008 18:15:52	180				0.505	0.355	442.395	0		
	24/01/2008 21:15:52	360				0.298	0.148	442.602	0		

Remarque	Date heure	temps	temps t	Temps t'	(t+t')/t'	mesure/guide sonde	mesure/tube	eau (m NGF)	débit	conductivité	température
		en min	s			en m	m	442.9	en m3/h	en µS/cm	en °C
Longue durée	28/01/2008 12:45:07	0	0			0.14	-0.01	442.76		2490	16.2
	28/01/2008 12:45:37	6979	30			14	13.85	428.9			
	28/01/2008 12:46:07	1	60			17.85	17.7	425.05			
	28/01/2008 12:46:37	2	90			21.26	21.11	421.64			
	28/01/2008 12:47:37	3	150			22.85	22.7	420.05	61.01		
	28/01/2008 12:48:07	3	180			23.7	23.55	419.2			
	28/01/2008 12:49:07	4	240			24.17	24.02	418.73	60.7		
	28/01/2008 12:50:07	5	300			24.36	24.21	418.54	60.7		
	28/01/2008 12:51:07	6	360			24.43	24.28	418.47	60.6		
	28/01/2008 12:52:07	7	420			24.52	24.37	418.38	60.7		
	28/01/2008 12:53:07	8	480			24.56	24.41	418.34	60.6		
	28/01/2008 12:54:07	9	540			24.6	24.45	418.3	60.5		
	28/01/2008 12:55:07	10	600			24.65	24.5	418.25	60.4		
	28/01/2008 12:56:07	11	660			24.67	24.52	418.23		2440	17.8
	28/01/2008 12:57:07	12	720			24.7	24.55	418.2	60.5		
	28/01/2008 12:58:07	13	780			24.72	24.57	418.18	60.5		
	28/01/2008 13:00:07	15	900			24.77	24.62	418.13			
	28/01/2008 13:05:07	20	1200			24.88	24.73	418.02			
	28/01/2008 13:10:07	25	1500			24.95	24.8	417.95			
	28/01/2008 13:15:07	30	1800			25.03	24.88	417.87	60.3		
	28/01/2008 13:25:07	40	2400			25.15	25	417.75			
	28/01/2008 13:35:07	50	3000			25.25	25.1	417.65	60.2		
	28/01/2008 13:45:07	60	3600			25.34	25.19	417.56			
	28/01/2008 14:00:07	75	4500			25.46	25.31	417.44	60.1		
	28/01/2008 14:15:07	7069	5400			25.55	25.4	417.35	60.1		
	28/01/2008 14:32:07	7086	6420			25.64	25.49	417.26			
	28/01/2008 14:45:07	7099	7200			25.71	25.56	417.19	60.1		
	28/01/2008 15:00:07	7114	8100			25.79	25.64	417.11			
	28/01/2008 15:20:07	7134	9300			25.88	25.73	417.02	60		
	28/01/2008 15:30:07	7144	9900			25.95	25.8	416.95			
	28/01/2008 15:45:07	7159	10800			25.985	25.835	416.915	60	2290	17.1
	28/01/2008 16:15:07	7189	12600			26.09	25.94	416.81	60		
	28/01/2008 16:45:07	7219	14400			26.195	26.045	416.705	59.9	2260	17.7
	28/01/2008 17:15:07	7249	16200			26.295	26.145	416.605	59.9		
	28/01/2008 17:45:07	7279	18000			26.41	26.26	416.49	59.8	2240	17.7
	28/01/2008 18:15:07	7309	19800			26.49	26.34	416.41	59.7		
	28/01/2008 20:45:07	7459	28800			26.88	26.73	416.02			
	29/01/2008 08:45:07	8179	72000			28.14	27.99	414.76	59.2	2140	17.5
	29/01/2008 09:45:07	8239	75600			28.22	28.07	414.68	59.2		
	29/01/2008 10:45:07	8299	79200			28.3	28.15	414.6	59.1	2130	17.5
	29/01/2008 11:45:07	8359	82800			28.37	28.22	414.53	59.1		
	29/01/2008 12:45:07	8419	86400			28.445	28.295	414.455	59	2120	17.6
	29/01/2008 13:45:07	8479	90000			28.51	28.36	414.39	59		
	29/01/2008 14:45:07	8539	93600			28.59	28.44	414.31	59	2120	17.5
	29/01/2008 15:45:07	8599	97200			28.65	28.5	414.25	59	2120	17.5
	29/01/2008 16:45:07	8659	100800			28.72	28.57	414.18	58.9	2120	17.5
	29/01/2008 17:45:07	8719	104400			28.77	28.62	414.13	58.9	2120	17.5
	29/01/2008 20:45:07	8899	115200			28.95	28.8	413.95	58.8	2110	17.5
	30/01/2008 08:45:07	9619	158400			29.46	29.31	413.44	58.6	2100	17.4
	30/01/2008 09:45:07	9679	162000			29.5	29.35	413.4	58.6	2100	17.4
	30/01/2008 11:45:07	9799	169200			29.573	29.423	413.327	58.5	2090	17.5
	30/01/2008 12:45:07	9859	172800			29.605	29.455	413.295	58.4	2090	17.5
	30/01/2008 14:45:07	9979	180000			29.665	29.515	413.235	58.5	2090	17.5
	30/01/2008 15:45:07	10039	183600			29.695	29.545	413.205	58.4	2090	17.5
	30/01/2008 17:45:07	10159	190800			29.765	29.615	413.135	58.3	2090	17.4
	30/01/2008 20:45:07	10339	201600			29.84	29.69	413.06	58.3	2090	17.4
	31/01/2008 08:45:07	11059	244800			30.08	29.93	412.82	58.1	2090	17.4
	31/01/2008 09:45:07	11119	248400			30.1	29.95	412.8			
	31/01/2008 10:45:07	11179	252000			30.12	29.97	412.78			
	31/01/2008 11:45:07	11239	255600			30.13	29.98	412.77	58		
	31/01/2008 12:45:07	11299	259200	0		30.15	30	412.75		2080	17.5
Remontée longue d	31/01/2008 12:45:08	0	259201	1	254120	30.15	30	412.75	0		
	31/01/2008 12:45:26	0	259219	19	13630	20	19.85	422.9	0		
	31/01/2008 12:46:00	1	259253	53	4891	11	10.85	431.9	0		
	31/01/2008 12:46:08	1	259261	61	4250	9.4	9.25	433.5	0		
	31/01/2008 12:46:53	2	259306	106	2447	7	6.85	435.9	0		
	31/01/2008 12:47:08	2	259321	121	2144	6.6	6.45	436.3	0		
	31/01/2008 12:47:38	3	259351	151	1718	6.37	6.22	436.53	0		
	31/01/2008 12:48:08	3	259381	181	1434	6.25	6.1	436.65	0		
	31/01/2008 12:49:08	4	259441	241	1077	6.15	6	436.75	0		
	31/01/2008 12:50:08	5	259501	301	863	6.1	5.95	436.8	0		
	31/01/2008 12:51:08	6	259561	361	720	6.05	5.9	436.85	0		
	31/01/2008 12:52:08	7	259621	421	618	6.005	5.855	436.895	0		
	31/01/2008 12:54:08	9	259741	541	481	5.93	5.78	436.97	0		
	31/01/2008 12:55:08	10	259801	601	433	5.9	5.75	437	0		
	31/01/2008 12:57:08	12	259921	721	361	5.85	5.7	437.05	0		
	31/01/2008 12:59:08	14	260041	841	310	5.79	5.64	437.11	0		
	31/01/2008 13:00:08	15	260101	901	290	5.765	5.615	437.135	0		
	31/01/2008 13:02:08	17	260221	1021	256	5.72	5.57	437.18	0		
	31/01/2008 13:06:08	21	260461	1261	208	5.65	5.5	437.25	0		
	31/01/2008 13:10:08	25	260701	1501	175	5.585	5.435	437.315	0		
	31/01/2008 13:13:08	28	260881	1681	156	5.54	5.39	437.36	0		
	31/01/2008 13:15:08	30	261001	1801	146	5.51	5.36	437.39	0		
	31/01/2008 13:20:08	35	261301	2101	125	5.45	5.3	437.45	0		
	31/01/2008 13:25:08	40	261601	2401	110	5.395	5.245	437.505	0		
	31/01/2008 13:30:08	45	261901	2701	98	5.345	5.195	437.555	0		
	31/01/2008 13:35:08	50	262201	3001	88	5.3	5.15	437.6	0		
	31/01/2008 13:40:08	55	262501	3301	81	5.26	5.11	437.64	0		
	31/01/2008 13:45:08	60	262801	3601	74	5.215	5.065	437.685	0		
	31/01/2008 13:55:08	70	263401	4201	64	5.15	5	437.75	0		
	31/01/2008 14:00:08	75	263701	4501	60	5.115	4.965	437.785	0		
	31/01/2008 14:05:08	80	264001	4801	56	5.08	4.93	437.82	0		
	31/01/2008 14:15:08	90	264601	5401	50	5.02	4.87	437.88	0		
	31/01/2008 14:25:08	100	265201	6001	45	4.965	4.815	437.935	0		
	31/01/2008 14:30:08	105	265501	6301	43	4.945	4.795	437.955	0		
	31/01/2008 14:35:08	110	265801	6601	41	4.91	4.76	437.99	0		
	31/01/2008 14:45:08	120	266401	7201	38	4.85	4.7	438.05	0		
	31/01/2008 15:00:08	135	267301	8101	34						

**Annexe 4 : Résultats de l'analyse des eaux brutes  
après l'essai de pompage « longue durée »**

