

Département du Gard

Commune de TORNAC

Lieu-dit : Cagnardasses

70000 TORNAC

Forage de la GABRIËL

RAPPORT HYDROGÉOLOGIQUE

**Compte rendu des travaux
de forage**

**Essai par pompage de
courte durée**

Réalisé à la demande de :

Conseil Général du Gard
D.D.R. - Service de l'Eau et des Rivières
3 rue Guillemette
30044 NÎMES Cedex

Lussan, le 25 octobre 2010

N° 30/330 D 10 039



Bureau d'Etudes et de Recherches Géologiques Appliquées
10 rue des Cigognes - 34000 Montpellier - tél. 04 67 99 52 52 - fax 04 67 99 52 53
Hameau de Prades - 30580 Lussan - tél. 04 66 72 98 44 - fax 04 67 99 52 53
www.bergasud.fr - contact@bergasud.fr N° Intracommunautaire : FR93325439974 - Siret : 325 439 974 00032 - Code APE : 7112B

SOMMAIRE

1. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE.....	3
2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE.....	3
3. TRAVAUX DE FORAGE.....	4
4. ESSAI PAR POMPAGE.....	4
4.1. Caractéristiques techniques	5
4.2. Pompage par paliers de débit.....	6
4.2.1. Mise en œuvre.....	6
4.2.2. Résultats et interprétation.....	6
4.3. Essai par pompage de courte durée.....	7
4.3.1. Chronologie	7
4.3.2. Résultats et interprétation.....	8
5. QUALITÉ DE L'EAU	10
6. PROPOSITION DE TRAVAUX.....	11
7. CONCLUSION.....	12

1. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

Dans le cadre de l'amélioration et de la diversification de la ressource en eau potable du Syndicat des Eaux de Tornac-Massillargues-Atuech, le Conseil Général du Gard a mandaté notre bureau d'études afin de déterminer les zones favorables à la recherche d'une ressource en eau souterraine compatible avec les besoins communaux.

Un site favorable a été trouvé dans les formations calcaires du Jurassique supérieur au niveau du secteur des Cagnardasses (cf. rapport BERGA-Sud n° 30/330 C 09 038 du 8 juin 2009) et a conduit à l'implantation d'un forage de reconnaissance.

Le présent rapport fait suite aux travaux de forage de reconnaissance et de pré-exploitation ainsi que des essais par pompage. Ces essais ont pour but de déterminer les potentialités d'exploitation de ce site avant la réalisation de l'ouvrage définitif.

2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La commune de Tornac se situe à environ 4 km au Sud de la ville d'Anduze. Le site d'étude se localise à environ 1,5 km au Sud-Sud-Est du centre de Tornac (cf. Figure 1).

Les coordonnées Lambert II étendu du forage sont :

$x = 734,19 \text{ km}$

$y = 1\,891,68 \text{ km}$

$z = 152 \text{ m.}$

Il se trouve sur la parcelle 93 section AL du cadastre de Tornac (cf. Figure 2).

3. TRAVAUX DE FORAGE

Ils ont été réalisés par l'entreprise ROUDIL Forages (Nîmes -30) du 29 mars au 26 mai 2010 et pilotés par BERGA-Sud.

Les coupes géologique et technique de l'ouvrage définitif sont tracées sur la Figure 3.

Il a été réalisé en deux temps : ouvrage de reconnaissance en mars et ouvrage de pré-exploitation en mai, après que les essais décrits ci-dessous aient permis de s'assurer d'une productivité suffisante de l'aquifère.

4. ESSAI PAR POMPAGE

Un essai par pompage d'une durée de 3 jours environ a été réalisé sur le forage F1 afin de tester l'aquifère contenu dans les calcaires du Jurassique supérieur.

Dans un premier temps, un essai par pompage par paliers de débit enchaînés a été mené pour caractériser hydrauliquement l'ouvrage.

Ces essais avaient pour objectifs :

- le développement du forage F1,
- la détermination de l'équation caractéristique du forage F1,
- la détermination des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère,
- l'appréciation du rendement et des possibilités d'exploitation du forage (évolution du rabattement en fonction du débit pompé et estimation de la ressource en eau exploitable),
- la détermination des modalités de travaux nécessaires à la mise en place d'un ouvrage d'exploitation.

4.1. Caractéristiques techniques

- **Conditions :** Moyennes eaux.
- **Installateur :** Ent. ROUDIL Forages (Nîmes -30).
- **Groupe de pompage :** Pompe immergée 4" à 89,7 mètres pour le pompage de longue durée.
- **Alimentation électrique :** Groupe électrogène.
- **Point de rejet de l'eau :** A 5 mètres en contrebas du forage, sans risque de recyclage avec un écoulement vers le fossé bordant la RD35.
- **Mesure du débit :** Débitmètre électromagnétique Krohne aquaflux 010K associé à un convertisseur IFC 090K relié à une centrale d'acquisition de données numériques HDL de Cr2m.
- **Point d'eau contrôlé :** F1.
- **Niveau initial :** 60,50 m/réf.
- **Référence :** 1 m par rapport au sol.
- **Mesure des niveaux :**
 - mesures ponctuelles : limnimètre électrique manuel,
 - mesures continues sur F1 : sonde piézorésistive PTX de Druck qui convertit la pression d'eau en signal électrique par technologie piézorésistive et le conditionne en boucle (4-20 mA). Ce capteur est relié à une centrale d'acquisition et d'enregistrement de données numériques HDL de Cr2m.
- **Mesure de la conductivité et de la température :** Mesures continues au moyen du conductimètre WTW 3310.

4.2. Pompage par paliers de débit

La réalisation d'un forage perturbe l'écoulement des eaux souterraines au voisinage de l'ouvrage. Les pertes de charge induites par ce dernier s'ajoutent à celles dues au magasin dans lequel circule l'eau.

Ce type d'essai a pour objectif de mettre en relation ces deux types de pertes de charge au sein d'une équation qui traduit la qualité de l'ouvrage.

4.2.1. Mise en œuvre

Le forage F1 a été mis en production à différents débits, appelés paliers de débit (cf. Figure 5).

▪ **Nombre de paliers :** 5.

▪ **Débits :**

1 ^{er} palier :	2,67 m ³ /h
2 ^{ème} palier :	5,95 m ³ /h
3 ^{ème} palier :	9,25 m ³ /h
4 ^{ème} palier :	4,24 m ³ /h
5 ^{ème} palier :	11,08 m ³ /h.

▪ **Durée des paliers :** 30 minutes.

▪ **Temps de remontée :** Les paliers ont été enchainés toutefois, il a été nécessaire de descendre la pompe pour effectuer le cinquième palier. En attendant l'arrivée de nouveaux tuyaux, un palier intermédiaire à 4,24 m³/h a été effectué.

4.2.2. Résultats et interprétation

Les valeurs de rabattement à l'issue de chaque palier, ainsi que les débits correspondants sont reportés dans le tableau ci-dessous.

Paliers		1	2	3	4	5
Débit	Q (m ³ /h)	2,67	5,95	9,25	4,24	11,08
Rabattement	s (m)	1,92	6,66	13,38	3,3	14,27
Rabattement spécifique	s/Q (m/m ³ /h)	0,72	1,12	1,45	0,78	1,29

L'exploitation graphique des droites $s/Q = f(Q)$ représentées sur la Figure 5 permet de déterminer l'équation caractéristique suivante :

$$s = 0,082 Q^2 + 0,52 Q$$

Le coefficient de corrélation de 82,8 % est relativement faible. En effet, il apparaît que les deux paliers effectués à 4,24 m³/h et à 11,08 m³/h ne représentent pas tout à fait les mêmes conditions hydrodynamiques. Lors de la reprise du palier à 4,24 m³/h, des eaux très turbides sont apparues alors qu'initialement les eaux d'exhaure étaient "seulement" fortement teintées soulignant l'effet du débouillage d'une fracture karstifiée améliorant les connexions de l'ouvrage avec l'aquifère proche.

Cette équation met en évidence que pour des débits supérieurs à 10 m³/h les pertes de charge liées à l'ouvrage (terme en Q^2) sont prépondérantes devant les pertes de charge liées à l'écoulement au sein de l'aquifère (terme en Q). Ainsi, il n'est envisageable d'obtenir des débits suffisants eu égard aux besoins du Syndicat (≈ 40 m³/h) qu'en améliorant la qualité de la connexion entre l'ouvrage et l'aquifère.

Cette amélioration pourra se faire par l'approfondissement de l'ouvrage s'il est rencontrées de nouvelles fractures ou par son acidification.

Ces observations ont conduit à la réalisation de l'ouvrage de pré-exploitation décrit sur la Figure 3

4.3. Essai par pompage de courte durée

Après que la pompe ait été placée à une profondeur suffisante, il nous a été possible d'effectuer un pompage de courte durée au débit du dernier palier, soit 11 m³/h environ, débit maximal permis par la pompe d'essai en place.

4.3.1. Chronologie

▪ Descente :

du	15/04/2010	15 h 48 min
au	16/04/2010	10 h 00 min
soit 18 heures et 12 minutes.		

▪ **Remontée :**

du 16/04/2010 10 h 15 min
 au 19/04/2010 09 h 22 min
 soit 2 jours, 23 heures et 7 minutes.

4.3.2. Résultats et interprétation

Descente

▪ **Débit moyen :** 9,7 m³/h.

▪ **Principales valeurs mesurées :**

Temps	0	5'	10'	30'	45'	1h30'	2h	5h	12h	17h43'
Q (m ³ /h)	0	11,7	11,27	10,49	10,32	10,01	9,98	9,87	9,78	9,78
Profondeur du plan d'eau (m)	61,11	69,02	71,55	75,28	76,41	77,72	78,16	78,94	79,42	79,63
Rabatement (m)	0	7,91	10,44	14,17	15,3	16,61	17,05	17,83	18,31	18,52

L'évolution de la profondeur du plan d'eau dans le forage F1 est tracée sur la Figure 4 en parallèle des débits pompés.

▪ **Rabatement maximum :** 18,52 mètres.

▪ **Volume extrait du forage :** 177 m³ environ.

Le 16 avril, le débit mesuré n'était plus que de 7,30 m³/h. L'enregistrement montre une baisse lente du débit à partir de 9 heures, probablement due au colmatage d'un des éléments de pompage. Un arrêt bref du pompage a permis de restaurer le débit normal à cette profondeur de plan d'eau.

La mise en place précoce du matériel a permis de mesurer l'effet de la vidange naturelle de l'aquifère des calcaires du Jurassique supérieur.

Le rabattement du plan d'eau a été tracé en fonction du logarithme du temps sur la Figure 6.

Les points s'alignent selon une droite qui permet le calcul d'une valeur de la transmissivité apparente si l'on adopte les hypothèses de traitement relatives au modèle simplifié de Jacob en régime hydrodynamique transitoire et en comparant l'aquifère des calcaires jurassiques à un milieu poreux homogène, isotrope et infini :

$$T = \frac{0,183 Q}{\Delta s} \quad \text{avec : } T = \text{Transmissivité (m}^2/\text{s)} \\ Q = \text{Débit (m}^3/\text{s)} \\ \Delta s = \text{Rabatement sur un cycle log (m)}$$

$$T = 4.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

On remarquera que l'évolution du niveau du plan d'eau durant le pompage est fortement influencée par la vidange naturelle de l'aquifère visible avant et après les essais.

Cette influence affecte donc l'estimation de la transmissivité.

Remontée

▪ Principales valeurs mesurées :

Temps	t= 18h12' t' = 0	1'	5'	15'	30'	1h	6h	12h	1j	2j	2j23h7'
Profondeur du plan d'eau (m)	75,13	72,75	68,52	64,56	62,53	61,58	61,39	61,42	61,70	62,20	62,61
Rabatement (m)	14,02	11,64	7,41	3,45	1,42	0,47	0,28	0,31	0,59	1,09	1,50

t = durée du pompage

t' = temps de remontée

Cette remontée a été portée sur diagramme semi-logarithmique en fonction d'une expression mettant en relation la durée du pompage et le temps écoulé depuis l'arrêt de celui-ci (cf. Figure 7).

Elle a été perturbée par les deux redémarrages qui ont été provoqués pour tester la relation turbidité-rabatement liée au colmatage éventuel de l'ouvrage. Le suivi de la remontée a été réalisé pendant deux jours afin d'observer les effets de la vidange de l'aquifère qui sont apparus très rapidement (après moins de 10 heures de remontée).

Cette reprise très rapide de la vidange de l'aquifère ne permet pas une interprétation rigoureuse de la remontée. Elle montre néanmoins que l'essai ne perturbe en rien le fonctionnement naturel de l'aquifère.

5. QUALITÉ DE L'EAU

Des mesures de la conductivité et de la température des eaux d'exhaure ont été réalisées en continu au cours de l'essai par pompage. Certaines sont données dans le tableau suivant :

Date	15/04/2010	15/04/2010	15/04/2010	16/04/2010
Heure	15 h 53	16 h 48	20 h 06	09 h 55
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	574	557	563	573
Température ($^{\circ}\text{C}$)	16,2	17	17	17

La Figure 8 retranscrit ces enregistrements sous forme graphique.

De façon générale, nous retrouvons une eau présentant une conductivité cohérente avec l'aquifère exploité mais avec une température relativement forte. La conductivité a diminué brusquement en début d'essai puis a augmenté légèrement tout au long du pompage. Dans le même temps, la température s'est stabilisée à 17 $^{\circ}\text{C}$.

Cette température relativement élevée souligne la circulation en profondeur des eaux exploitées au niveau de l'aquifère, ce qui est compatible avec une grande extension de l'aquifère et donc avec un important potentiel d'exploitation.

Le type d'aquifère sollicité est souvent caractérisé par la présence de turbidité dans les eaux. Cette turbidité élevée en début d'essai a diminué tout au long du pompage de longue durée. Elle tendra à diminuer au cours du temps d'exploitation ou de développement mais pourra réapparaître sporadiquement à la suite de fortes précipitations.

6. PROPOSITION DE TRAVAUX

Les essais par pompage menés sur le forage de reconnaissance implanté dans les calcaires jurassiques au lieu-dit Les Cagnardasses ont permis de mettre en évidence les bonnes capacités de l'aquifère karstique qu'ils renferment. Toutefois, la mauvaise connexion entre l'ouvrage et le réservoir engendre de fortes pertes de charge qui ne permettaient pas d'obtenir des débits suffisants avec l'ouvrage de reconnaissance.

Il convenait donc d'améliorer la connectivité de l'ouvrage avec l'aquifère afin de pouvoir optimiser son exploitation.

Nous avons donc proposé la transformation du forage de reconnaissance en forage d'exploitation permettant toute intervention ultérieure qui paraîtrait utile : approfondissement et/ou acidification.

Ainsi, un réalésage de l'ouvrage en Ø 311 mm sur 85 mètres a permis de mettre en place un tubage acier en Ø 273 mm jusqu'à la profondeur de 81,70 mètres avec une cimentation pression à l'extrados complétée gravitairement pour isoler toutes venues d'eau de surface et notamment celles (potentielles) de la faille rencontrée à 74 mètres de profondeur.

L'ouvrage a ensuite été alésé en Ø 254 mm jusqu'à 142 mètres (immédiatement au-dessus de la première faille productrice). Il n'a pas été tubé dans un premier temps afin de pouvoir éventuellement approfondir cette chambre de pompage si les essais de longue durée montrent un rabattement trop important.

L'ouvrage a ensuite été approfondi jusqu'à 259 mètres de profondeur.

A la suite de ces travaux, si le débit immédiat n'est pas amélioré, il pourra être intéressant d'effectuer une acidification de l'ouvrage.

L'équipement actuel de l'ouvrage permettra de mettre en place une pompe de 6" à 140 mètres de profondeur afin de réaliser un essai de longue durée à un débit compatible avec les besoins du Syndicat.

Un suivi particulier de la qualité des eaux et notamment de la turbidité sera nécessaire lors de cet essai. Enfin, une prise d'échantillon d'eau sera effectuée pour permettre une analyse de première adduction.

7. CONCLUSION

Les travaux de recherche d'une nouvelle ressource en eau potable pour la commune de Tornac ont permis d'implanter un forage de reconnaissance au lieu-dit Les Cagnardasses.

Les formations rencontrées en profondeur sont celles du Jurassique supérieur qui renferment un aquifère karstique susceptible de fournir des débits intéressants. Les mesures piézométriques effectuées lors de ces études et essais confirment qu'il s'agit du même aquifère des calcaires jurassiques à fort potentiel de production que celui qui a été étudié au forage de Saint-Jean de Serre.

Les résultats encourageants obtenus sur le forage de reconnaissance nous ont permis de proposer la création d'un ouvrage d'exploitation en plus gros diamètre ainsi que des essais par pompage de longue durée en période d'étiage qui permettront d'acquérir les connaissances nécessaires à la mise en place d'un captage sur le site de Cagnardasses.

Lussan, le 25 octobre 2010

Axel ROESCH

Jean-Marc FRANÇOIS