

Ainsi, nous considérons ici qu'au cours de l'essai, quatre paliers de débit de pompage croissants d'une heure chacun, intercalés de phases d'arrêt du pompage d'une heure également, ont été mis en œuvre.

Le niveau statique initial mesuré avant pompage était de -2,66 m/TN.

Les quatre paliers de débits s'échelonnent entre 69,5 et 82,5 m³/h.

Comme vu précédemment, pour chaque palier de pompage mis en œuvre, dès le démarrage de la pompe, le niveau d'eau s'abaisse brutalement. La courbe prend ensuite une forme asymptotique sans que pour autant le niveau d'eau ne semble se stabiliser complètement (surtout pour les deux derniers paliers).

Au terme de chaque palier, le niveau d'eau remonte brutalement dans un premier temps dès l'arrêt de la pompe, puis il se stabilise progressivement jusqu'à approcher au bout d'une heure la cote initiale du niveau statique avant pompage. D'une manière générale, le rabattement résiduel mesuré ne dépasse pas quelques centimètres au plus.

Le tableau suivant présente les valeurs de rabattement maximum atteintes pour chaque palier de pompage mis en œuvre.

Paliers	Débit (m ³ /h)	Rabattement (m)	Rabattement résiduel après une heure de remontée (cm)
1	69,5	1,05	1,0
2	73,0	1,19	4,0
3	77,3	1,27	4,5
4	82,5	1,45	6,0

5.4.2. COURBE CARACTERISTIQUE DU FORAGE

Comme nous venons de le voir plus haut, à chaque palier de pompage correspond une valeur de rabattement donnée du niveau d'eau dans le forage (Cf. tableau ci-avant). Il est donc possible de tracer la courbe caractéristique de l'ouvrage telle que $\Delta = f(Q)$.

La forme générale de la courbe caractéristique apporte des informations sur le comportement hydrodynamique du complexe aquifère/ouvrage de captage à l'origine de la perte de charge quadratique et linéaire.

Le débit critique est habituellement établi par analyse graphique de la courbe caractéristique et correspond au point d'inflexion de la courbe au-delà duquel le rabattement des niveaux d'eau dans le puits augmente de façon non linéaire par rapport au débit de pompage.

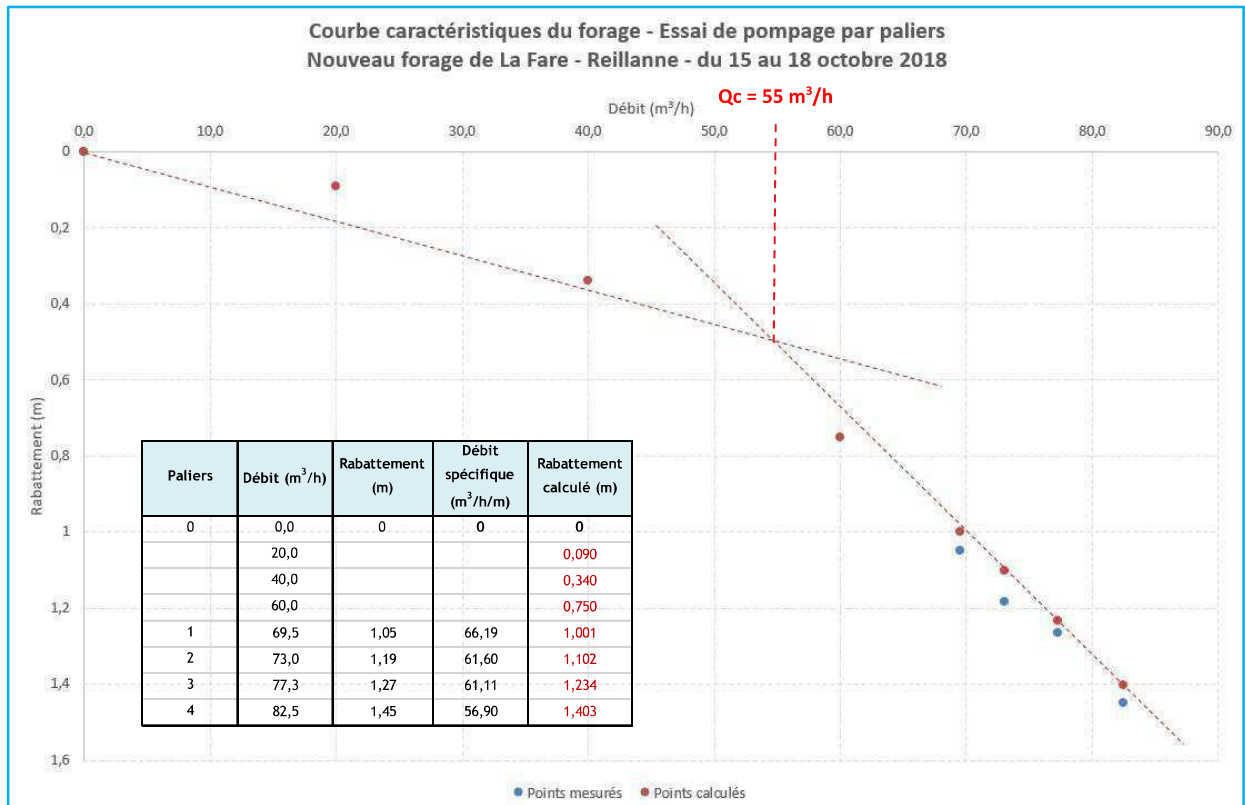
La pompe utilisée pour l'essai ne nous a pas permis de réaliser des mesures de rabattement pour de faibles débits de pompage, et seuls les points en bleu ont ainsi pu être tracés sur le graphique.

Afin de pouvoir finaliser l'analyse de la courbe et en déduire le débit critique du forage, il convenait de prendre en compte d'autres valeurs de rabattement pour de plus faibles débits. Ces valeurs ont donc été calculées à partir de l'équation des pertes de charges (voir chapitre suivant) et insérées au graphique.

Ainsi, l'analyse graphique de la courbe caractéristique met en évidence une inflexion qui permet d'estimer ici un débit critique de l'ordre de 55 m³/h.

Rappel : avec 4,5 m de tube crépiné et $Q_{sp} = 4,6$ l/s/m, le potentiel de captage de l'ouvrage est de 74,5 m³/h.

Figure 16 : courbe caractéristique du forage



5.4.3. EQUATION DES PERTES DE CHARGES

L'équation des pertes de charges dans le forage qui permet d'estimer l'efficacité de l'ouvrage est caractérisée par la relation suivante :

$$\Delta = BQ + CQ^2$$

Avec :

Δ : le rabattement des niveaux d'eau dans le forage.

BQ : les pertes de charge linéaires liées à l'écoulement des eaux dans l'aquifère.

CQ^2 : les pertes de charge quadratiques liées aux caractéristiques du forage.

En traçant le graphique $\Delta/Q = f(Q)$, il est possible d'établir l'équation des pertes de charges et de déterminer les paramètres B et C.

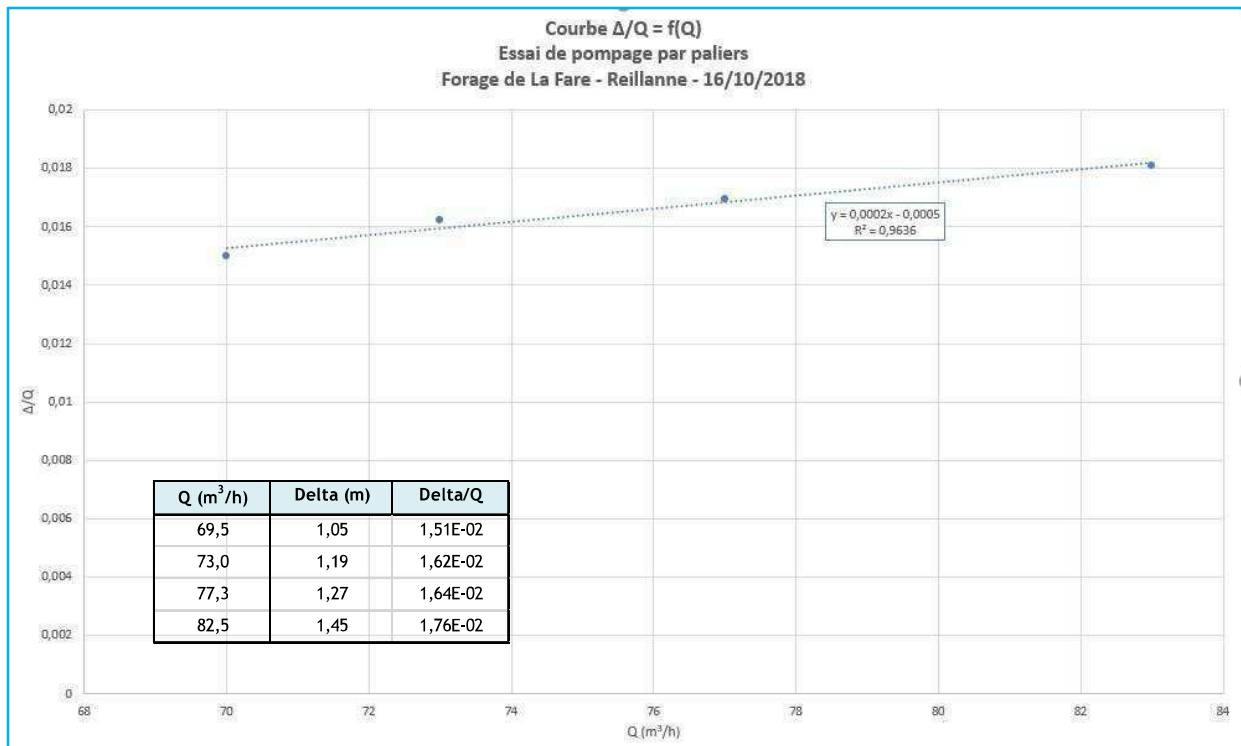
Il vient ainsi la relation suivante :

$$\Delta/Q = 2.10^{-4} Q + 5.10^{-4}$$

Avec :

b =	5,00E-04	h/m ²
c =	2,00E-04	h ² /m ⁵

Equation des pertes de charges :
$\Delta = bQ + cQ^2$
$\Delta = 5.10^{-4} Q + 2.10^{-4} Q^2$

Figure 17 : courbes $\Delta/Q = f(Q)$

Remarques :

Les résultats obtenus ici montrent que les pertes de charges linéaires dues à l'aquifère sont plus faibles que les pertes de charges quadratiques dues au forage.

Ces dernières sont certainement à l'origine du caractère limité du débit critique de l'ouvrage, estimé à $Q_c = 55 \text{ m}^3/\text{h}$.

Dans tous les cas, ce débit demeure sans rapport avec la capacité attendue de la ressource aquifère de la zone, ni avec le potentiel de captage du forage ($74,5 \text{ m}^3/\text{h}$).

Les résultats obtenus ici doivent, pour une bonne analyse de la problématique locale, être mis en perspective avec la réactivité de la nappe en cours de pompage, qui tend vers une certaine stabilisation au terme des différents paliers de débit mis en œuvre tout au long de l'essai ($69,5 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 82,5 \text{ m}^3/\text{h}$).

Demandeur :
Commune de Reillanne
 Hôtel de Ville
 Rue des Ecoles
 04410 REILLANNE

Géosynergie - Agence Alpes-Durance
 Jouglard-Le Poët
 05200 CROTS
 Courriel : yb.geosynergie@gmail.com
 SIRET : 535.396.683.00026 - APE : 7112 B

5.5. ANALYSE DU POMPAGE LONGUE DURÉE

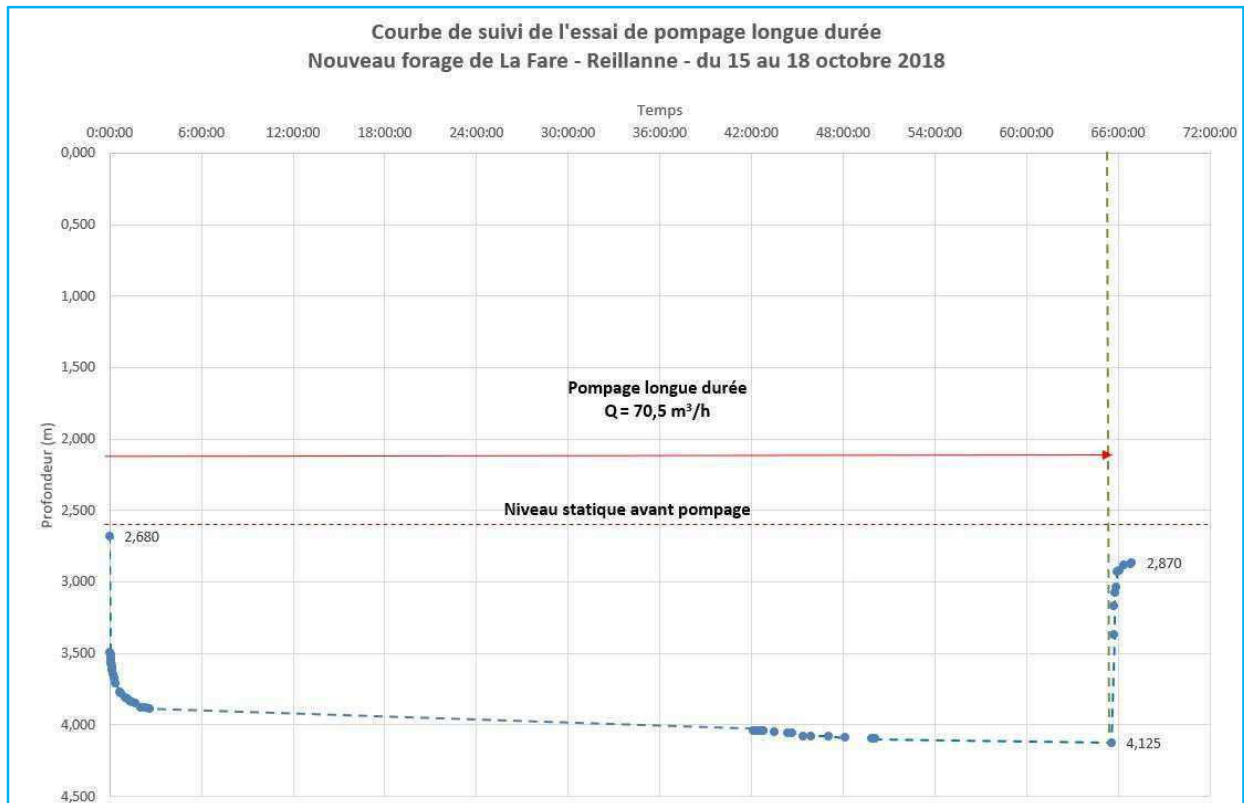
5.5.1. RESULTATS DU SUIVI

L'essai de pompage longue durée a débuté immédiatement à la suite du pompage par paliers (y compris le suivi de la remontée du niveau d'eau pendant 1h00) le 16 octobre 2018 à 15h05. Il a été suspendu le 18 octobre 2018 à 8h37 après plus de 65 heures de pompage.

Au démarrage de l'essai, la cote piézométrique avant pompage était de -2,68 m/TN.

Cet essai a été mis en œuvre à 70,5 m³/h, et ce débit est resté constant tout au long de l'intervention.

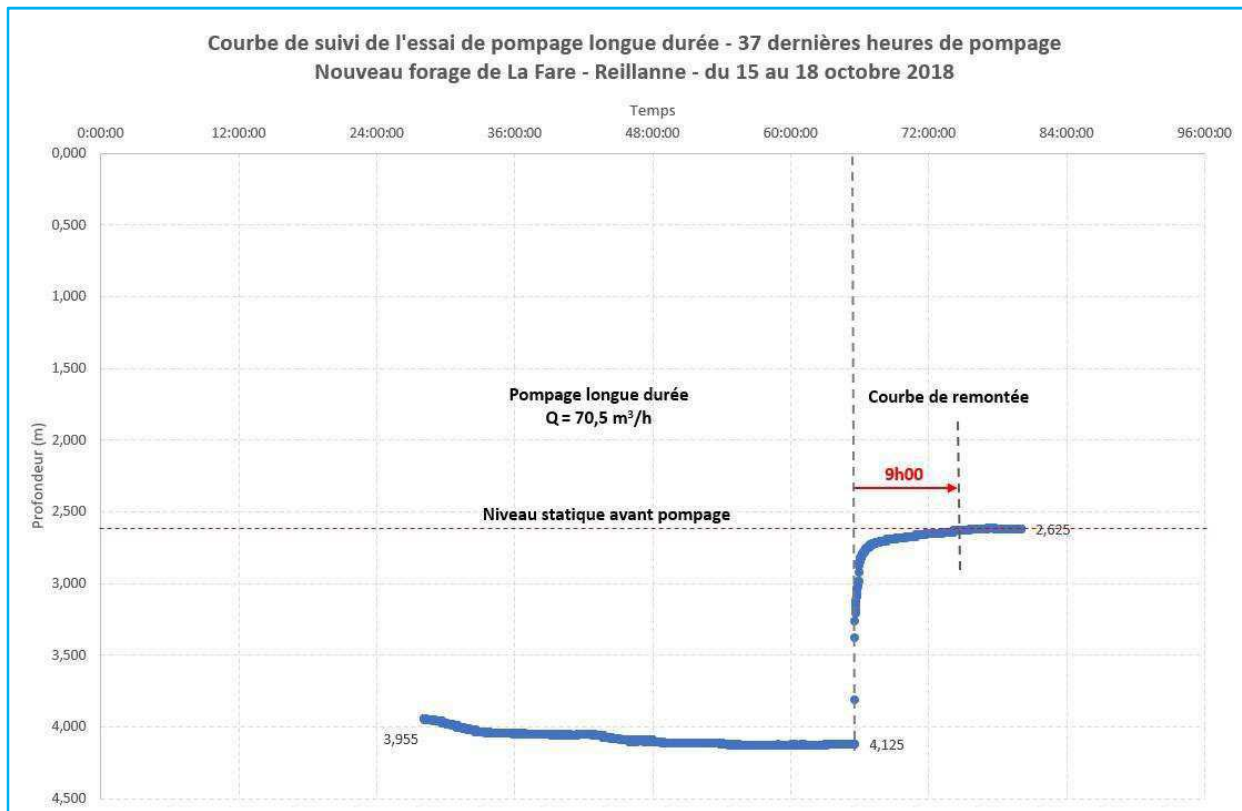
Figure 18 : courbe de suivi de l'essai de pompage longue durée



Comme déjà vu plus haut, le niveau d'eau s'est abaissé presque instantanément dans le forage dès le démarrage de la pompe. Il a ensuite continué à baisser très lentement, tendant progressivement vers une certaine stabilisation pour atteindre finalement -4,125 m/TN.

En fin de pompage, le niveau d'eau est remonté brutalement dans un premier temps, puis a pris une forme d'asymptote. La cote piézométrique initiale avant pompage n'a finalement été atteinte que 9h00 après l'arrêt de la pompe (voir figure 20).

Figure 19 : courbe de suivi de l'essai de pompage longue durée issue de l'enregistreur



5.5.2. CALCUL DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUE DE L'AQUIFERE

5.5.2.1. METHODE DE COOPER JACOB

La méthode de Cooper-Jacob permet de calculer la transmissivité de l'aquifère sans prendre en compte l'existence d'éventuels piézomètres.

Il s'agit d'une méthode d'analyse graphique qui, outre le calcul de la transmissivité de l'aquifère, permet d'estimer son coefficient d'emmagasinement.

Il convient de tracer au préalable la courbe $\Delta = f(\log t)$ pour la phase de pompage longue durée à débit constant.

On en déduit alors la transmissivité T, avec :

$$T = 2,30 Q / 4\pi \Delta s$$

Et Δs le rabattement mesuré ici pour un cycle logarithmique de pompage.

Ainsi, avec :

Δs	0,26	m
t_0	0,15	s
Q	70,5	m^3/h
	1,96E-02	m^3/s

Il vient :

$$T = 1,38.10^{-2} m^2/s$$

Enfin, prenant la relation suivante, il est possible de calculer le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère aux abords du forage :

$$S = 2,25 T t_0 / r^2$$

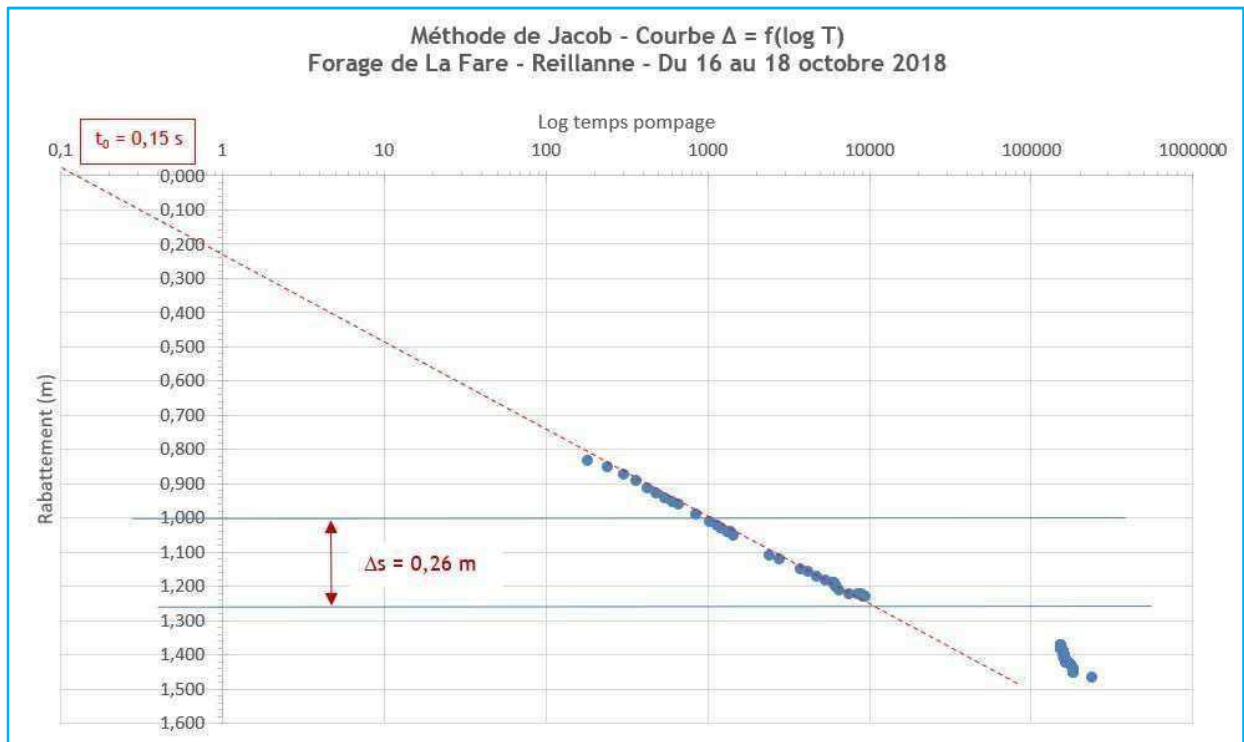
Avec, r le rayon du forage :

r	109,5	mm
	0,1095	m

On obtient :

$$S = 0,39$$

Figure 20 : courbe $\Delta = f(\log T)$



5.5.2.2. METHODE DE LA REMONTEE DU NIVEAU D'EAU - FORMULE DE THEIS

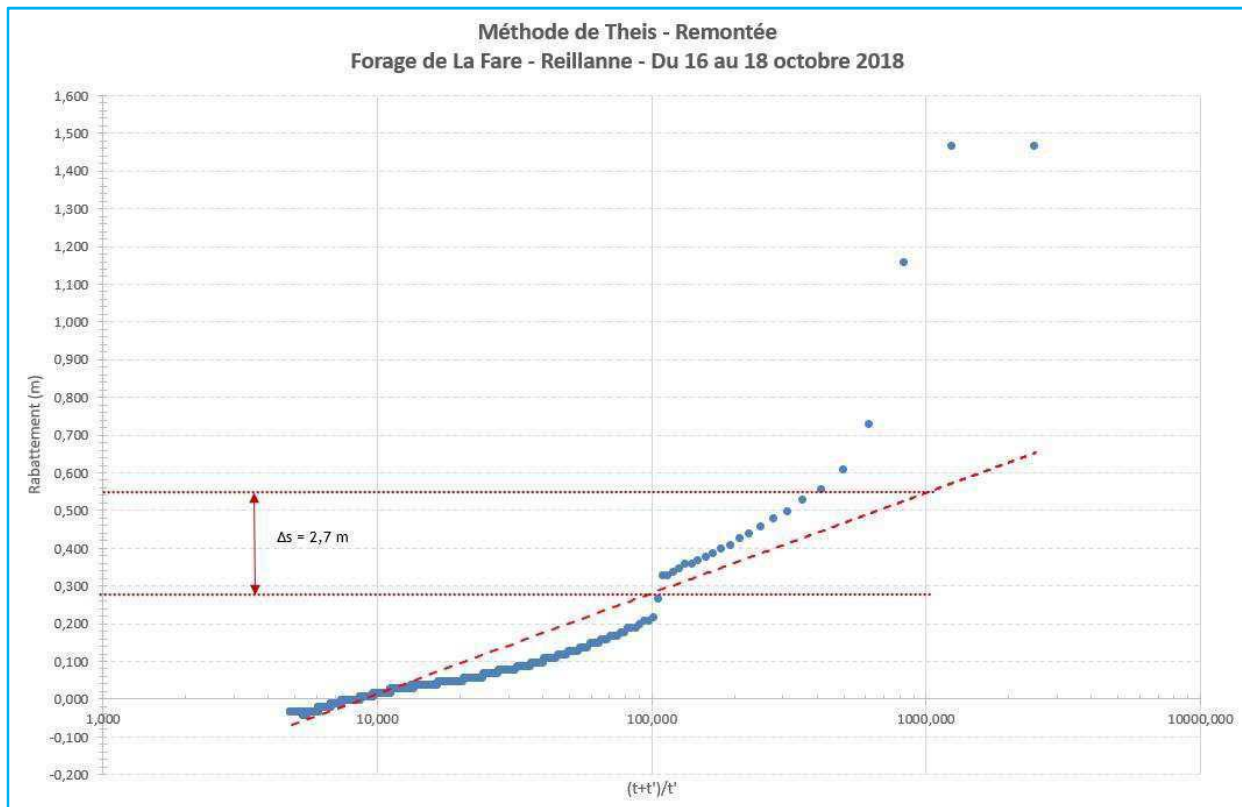
Comme la méthode de Cooper-Jacob, la méthode de la remontée des niveaux piézométriques, consiste également en une analyse graphique.

Elle ne permet en revanche que le calcul de la transmissivité.

Il convient de tracer au préalable la courbe $\Delta = f(\log((t+t')/t'))$ pour la phase de pompage longue durée à débit constant, avec :

- t : le temps écoulé depuis le début du pompage ;
- t' : le temps écoulé depuis l'arrêt de la pompe.

Figure 21 : courbe $\Delta = f(\log(t+t')/t')$



On en déduit alors la transmissivité T, avec :

$$T = 2,30 Q / 4\pi \Delta s$$

Et Δs le rabattement mesuré ici pour un cycle logarithmique de pompage.

Ainsi, avec :

Δs	2,7	m
Q	70,5	m ³ /h
	1,96E-02	m ³ /s

Il vient :

$$T = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

5.5.2.3. CALCUL DU RAYON D'ACTION

Le rayon d'action (ou rayon fictif) est la distance à laquelle le rabattement calculé par la méthode de Jacob est nul. Il est calculé par l'approximation suivante :

$$Rf = \sqrt{\frac{Tt}{s}}$$

Avec :

T : la transmissivité

t : le temps écoulé depuis le début du pompage

s : le coefficient d'emmagasinement

Il vient ici :

$$R_f = 91 \text{ m}$$

Remarques :

Par définition, le rayon fictif est théorique. Son expression suppose un cône de dépression circulaire, alors qu'en réalité, il est généralement plus étendu vers l'amont hydraulique. Etabli ainsi, le calcul ne tient pas compte de d'hétérogénéité de la nappe ni de sa géométrie.

5.5.2.4. CALCUL DU RAYON D'INFLUENCE DU FORAGE

Le rayon d'influence du forage concerne toute la partie de la nappe dont les filets d'eau se dirigent vers le forage. Il est entendu qu'au-delà de cette distance, les filets d'eau échappent au pompage.

Il s'agit ici de tracer les différentes courbes de rabattement observées pour différents paliers de pompage à partir des points de mesure accessibles sur la zone (puits, forage et piézomètres) dont la distance au forage d'essai est parfaitement établie.

Le rayon d'influence est donc déterminé à partir du graphique suivant, établi comme suit :

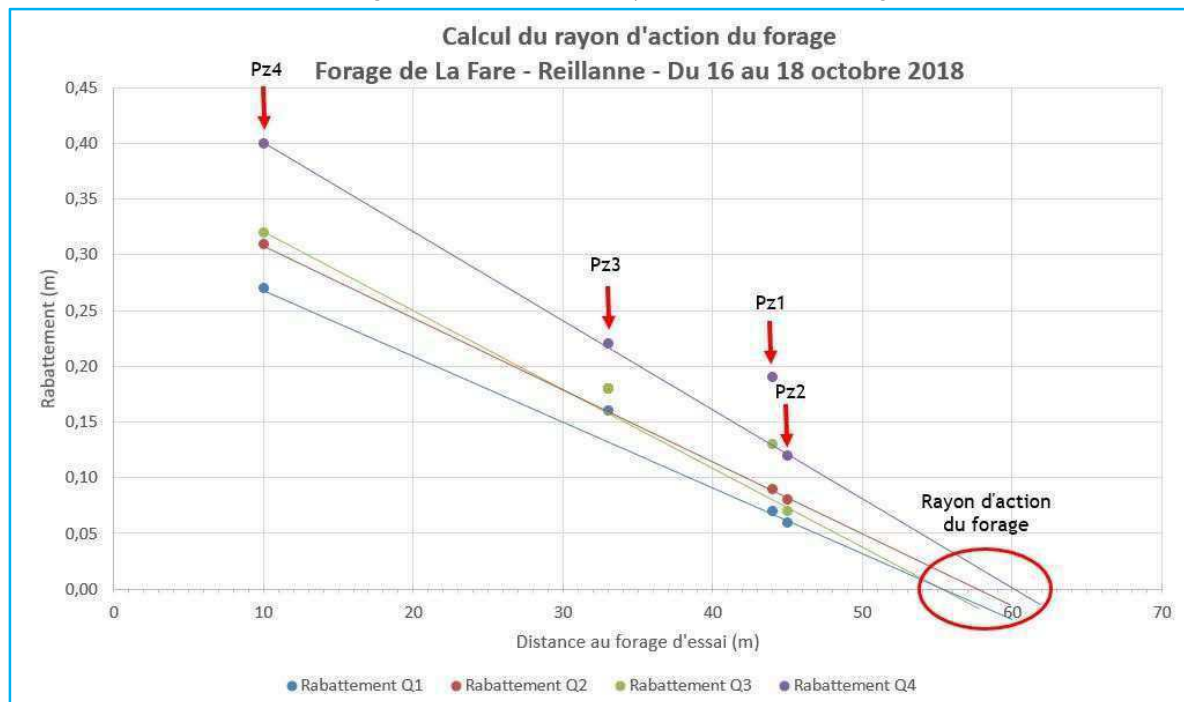
$$S = f(\log \text{ distance})$$

Avec

S : le rabattement du niveau d'eau mesuré dans chaque ouvrage pris en référence (forage et piézomètres).

Distance : distance des piézomètres au forage.

Figure 22 : calcul du rayon d'action du forage



Demandeur :
Commune de Reillanne
Hôtel de Ville
Rue des Ecoles
04410 REILLANNE

Géosynergie – Agence Alpes-Durance
Jougard-Le Poët
05200 CROTS
Courriel : yb.geosynergie@gmail.com
SIRET : 535.396.683.00026 – APE : 7112 B

Le rayon d'influence correspond au point de jonction des différentes droites de tendance tracées à partir des points reportés sur le graphique.

Le rayon d'action du forage peut donc être estimé ici, compris entre **55 et 60 m**

Remarques :

Le calcul du rayon d'influence revient à estimer par une méthode graphique le rayon d'action du forage. Dans ce cas, les hétérogénéités locales, à défaut d'être prises en compte précisément, sont appréciées en fonction de la répartition des ouvrages de mesures alentour.

Ainsi, le rayon d'influence correspond à une distance moyenne par rapport au forage d'essai à laquelle la nappe n'est plus influencée par le pompage.

5.6. LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

5.6.1. SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE SIMPLE EN COURS DE POMPAGE

L'analyse visuelle des eaux au cours du pompage d'essai n'amène ici aucune remarque particulière.

Légèrement trouble en début de pompage, l'eau est rapidement apparue parfaitement **claire et limpide**.

Le suivi des paramètres physico-chimiques simples des eaux d'exhaure n'a concerné ici que la température, le pH et la conductivité et les mesures ont été réalisées ponctuellement tout au long de l'essai de pompage. Les valeurs enregistrées sont consignées dans le tableau suivant :

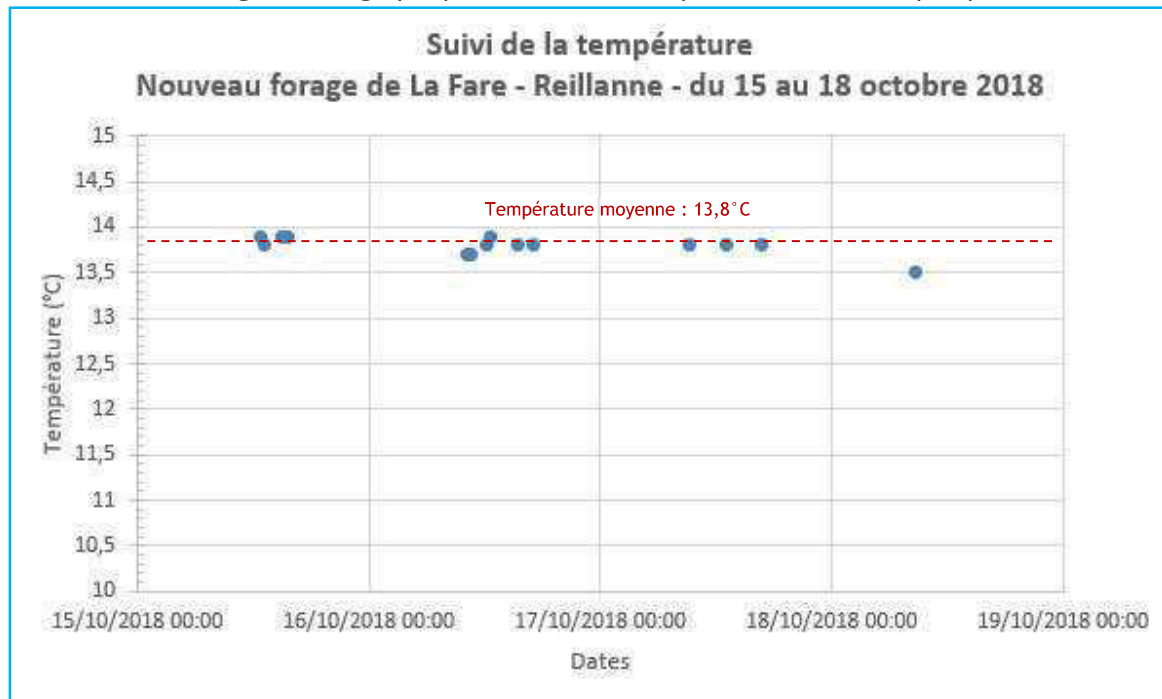
Palier	Date	Heure	Cd (µS)	T (°C)	pH	Notes
1	15/10/2018	12:47	488	13,9	7,72	Eau claire - Sable
1		13:12	491	13,8	7,66	Eau claire
2		14:54	490	13,9	7,49	Eau claire
2		15:38	491	13,9	7,49	Eau claire
3	16/10/2018	10:09	499	13,7	7,55	Eau claire
3		10:37	497	13,7	7,6	Eau claire
4		12:14	499	13,8	7,59	Eau claire
4		12:39	494	13,9	7,58	Eau claire
5		15:28	489	13,8	7,63	Eau claire
5		17:03	485	13,8	7,59	Eau claire
5	17/10/2018	09:17	495	13,8	7,56	Eau claire
5		13:05	484	13,8	7,58	Eau claire
5		16:39	487	13,8	7,59	Eau claire
5	18/10/2018	08:40	713	13,5	7,61	Eau claire

D'une manière générale, les valeurs de température mesurées fluctuent légèrement tout au long de l'essai, en fonction des différentes phases de pompage, restant comprises entre **13,5 et 13,9 °C**.

Demandeur :
Commune de Reillanne
 Hôtel de Ville
 Rue des Ecoles
 04410 REILLANNE

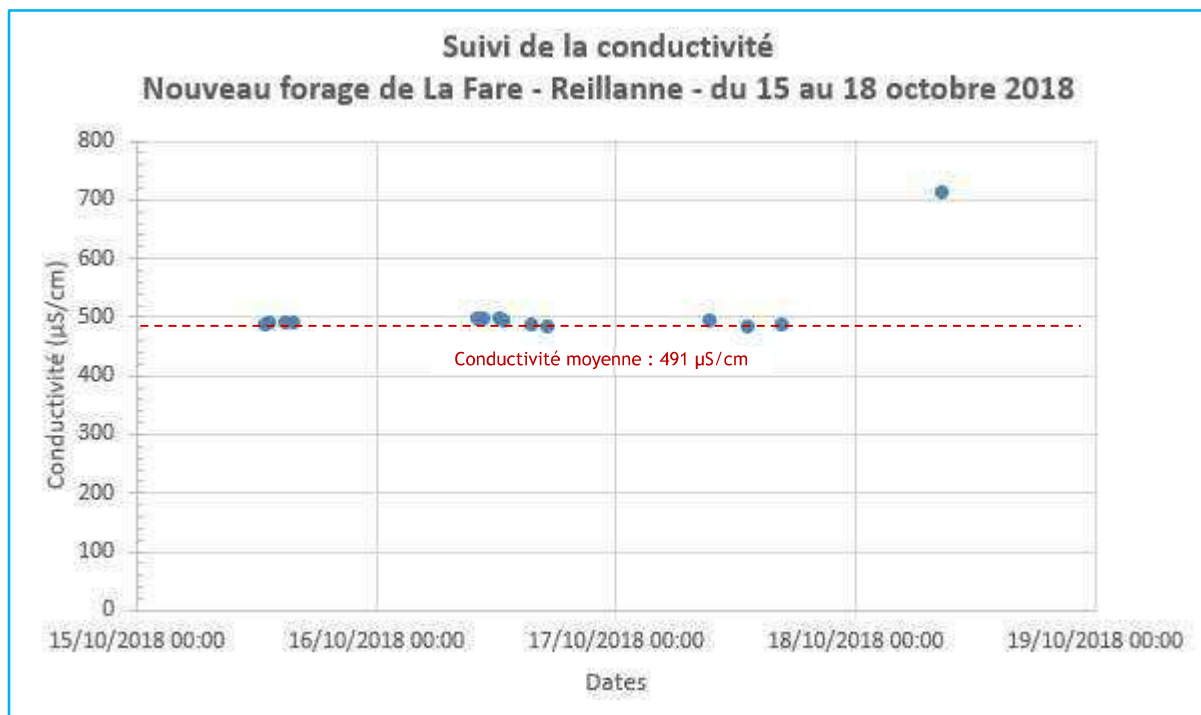
Géosynergie – Agence Alpes-Durance
 Jouglard-Le Poët
 05200 CROTS
 Courriel : yb.geosynergie@gmail.com
 SIRET : 535.396.683.00026 – APE : 7112 B

Figure 23 : graphique de suivi des températures des eaux pompées



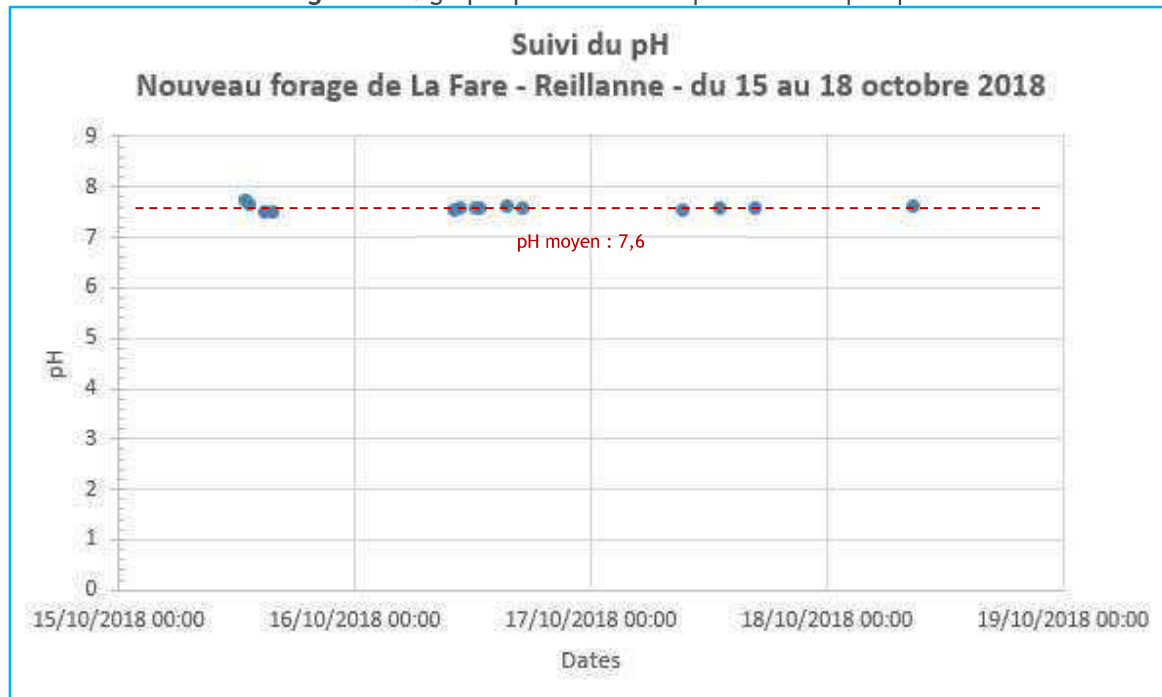
En ce qui concerne la conductivité des eaux, les valeurs mesurées apparaissent relativement constantes et comprises entre 484 et 499 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (à l'exception de la dernière valeur mesurée qui atteint 713 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mais qui est considérée ici comme un artéfact), quelle que soit la phase de pompage concernée, témoignant d'une minéralisation moyenne des eaux.

Figure 24 : graphique de suivi de la conductivité des eaux pompées



Le pH des eaux, quant à lui, peut être considéré comme **stable et légèrement alcalin**, avec des valeurs comprises entre **7,49 et 7,72**.

Figure 25 : graphique de suivi du pH des eaux pompées



Au regard de ces éléments de suivi et d'observation, il apparaît que les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines de la zone présentent une certaine constance, soulignant le caractère global et unique de la ressource aquifère sollicitée en ce point.

5.6.2. RESULTATS DE L'ANALYSE D'EAU

5.6.2.1. REMARQUE PREALABLE

La réalisation d'une analyse d'eau type P1 était prévue dans le cadre de la mission, et un échantillon d'eau devait être prélevé en fin de pompage.

Cette analyse avait fait l'objet d'une commande formalisée auprès du laboratoire LSEH de Lyon (accrédité COFRAC). Cependant, bien que le flaconnage nécessaire au prélèvement ait été en temps et en heure envoyé par le laboratoire, il n'est jamais parvenu sur le chantier à la date prévue à cause d'un problème d'organisation de la part de la société de transport mandatée pour la livraison.

Par le fait, il a été nécessaire de renouveler la commande d'analyse et d'organiser une nouvelle intervention sur site pour le prélèvement de l'échantillon d'eau.

La pompe d'essai ayant été retirée du forage, il a fallu mettre en place une nouvelle solution de prélèvement.

De fait, il est important de noter ici que l'échantillon d'eau n'a pu être prélevé dans d'aussi bonnes conditions que celles espérées en fin de pompage, notamment en terme de renouvellement suffisant des eaux du forage.

Demandeur :
Commune de Reillanne
 Hôtel de Ville
 Rue des Ecoles
 04410 REILLANNE

Géosynergie – Agence Alpes-Durance
 Jouglard-Le Poët
 05200 CROTS
 Courriel : yb.geosynergie@gmail.com
 SIRET : 535.396.683.00026 – APE : 7112 B

5.6.2.2. RESULTATS DE L'ANALYSE D'EAU

L'échantillon d'eau a été prélevé par nos soins le 11 décembre 2018 vers 11h00, à l'aide d'une pompe de prélèvement électrique (12V).

Les flacons ont été convenablement référencés et mis en glacière, puis ont été déposés avant 15h00 à destination du laboratoire LSEH de Lyon à son local de GAP.

Les principaux résultats obtenus sont présentés en suivant :

- Paramètres microbiologiques :
 - o Bactéries coliformes : **32** UFC/100 ml ;
 - o Escherichia coli : **10** UFC/100 ml ;
 - o Entérocoques : **2** UFC/100 ml ;
- Turbidité : 0,14 NFU ;
- pH : 7,29 ;
- Conductivité à 25° C : 563 µS/cm ;
- TH : 33,7° F ;
- Ammonium : <0,05 mg/l ;
- Chlorures : 4,7 ml/l ;
- Sulfates : 38,5 mg/l ;
- Nitrates : 5,6 mg/l ;
- Nitrites : <0,02 mg/l ;

Remarques et conclusions du laboratoire :

Eau non conforme aux limites de qualité fixées par le Code de la Santé Publique, articles R 1321-1 à 1321-5, arrêté du 11 janvier 2007 pour les paramètres suivants :

- Escherichia coli
- Entérocoques (Streptocoques fécaux)

Eau non conforme aux références de qualité fixées par le Code de la Santé Publique, articles R 1321-1 à 1321-5, arrêté du 11 janvier 2007 pour les paramètres suivants :

- Bactéries coliformes à 36° C

En revanche, les paramètres physico-chimiques analysés ne mettent en évidence aucune problématique particulière.

Remarques :

Dans le cadre de la validation définitive du forage comme ouvrage de captage d'eaux souterraines destinées à l'alimentation du réseau AEP de REILLANNE, il conviendra d'organiser une nouvelle campagne de prélèvement d'eau pour la réalisation d'une analyse « 1^{ère} adduction ».

Demandeur :
Commune de Reillanne
Hôtel de Ville
Rue des Ecoles
04410 REILLANNE

Géosynergie – Agence Alpes-Durance
Jouglaud-Le Poët
05200 CROTS
Courriel : yb.geosynergie@gmail.com
SIRET : 535.396.683.00026 – APE : 7112 B

6. CONCLUSIONS

6.1. RAPPELS DES RESULTATS

Venant conclure l'étude de faisabilité d'un nouvel ouvrage de captage d'eau potable sur la zone de la Fare pour l'alimentation du réseau AEP de la commune de REILLANNE, les travaux de forage et les essais de pompage réalisés en août puis en octobre 2018 ont souligné encore une fois l'existence sur la zone d'une importante ressource en eau souterraine, exploitée par ailleurs depuis de longues années par l'actuel forage de la Fare.

Les résultats de la tranche ferme de l'étude, et notamment les données issues de la campagne de prospection géophysique réalisée sur la zone, avaient laissé espérer la présence en partie centrale de la plaine au sud du champ captant d'un surcreusement alluvial favorable à l'implantation d'un nouvel ouvrage de captage par forage (13,5 m d'épaisseur d'alluvions).

Les travaux de forage de reconnaissance organisés dans le cadre de la tranche optionnelle de la mission n'ont pas permis de vérifier cette hypothèse. Au contraire, le toit du substratum calcaréo-marneux présent en profondeur est apparu plutôt plat et relativement uniforme sur l'ensemble de la zone, remontant naturellement en marge de la vallée aux abords du versant.

Ainsi, l'épaisseur des alluvions traversés est en moyenne comprise entre 8,5 et 9 m dans l'axe de la vallée du Largue (piézomètres 3 et 4 et forage d'essai). Elle n'est que de 5,5 à 7 m plus à l'ouest en direction du versant (piézomètres 1 et 2).

Naturellement, le forage d'essai a été implanté aux abords des piézomètres 3 et 4 de manière à bénéficier de la plus forte épaisseur d'alluvions disponibles (8,5 m).

Sur cette zone, comme espéré, la nappe d'accompagnement du Largue qui circule au sein des alluvions en place a été recoupée en profondeur. Aucune venue d'eau n'a par ailleurs été signalée venant des formations du substratum sous-jacent, qui sont donc considérées comme étanches à l'échelle du secteur.

La nappe du Largue consiste ici en une ressource de type phréatique qui occupe manifestement toute la largeur de la vallée et dont le niveau piézométrique apparaît peu profond, mesuré en fin de forage entre -1,70 et -2,70 m/TN en fonction des points de mesure (août 2018). En octobre, au moment des essais de pompage, le niveau statique de la nappe était de -2,66 m/TN au droit du forage d'essai.

Réalisé une première fois en août 2018, le forage d'essai n'a pu être réceptionné car son équipement est apparu non conforme aux prescriptions techniques demandées dans le cadre du projet. Repris en novembre 2018, l'ouvrage a finalement été validé.

Il s'agit d'un forage profond de -10,2 m/TN, équipé d'un tubage en acier inox Ø 219 mm avec crépines à fil enroulé (slot de 1 mm) de -3,9 à -10 m/TN. L'espace annulaire a été convenablement gravillonné de -10 à -3,8 m/TN, puis il a été cimenté jusqu'en surface sur bouchon d'argile de 50 cm.

Le substratum calcaréo-marneux en place a été recoupé en profondeur vers -8,40 m/TN, aussi le forage d'essai est-il un **ouvrage complet** qui traverse en ce point une tranche d'eau estimée à environ 5,7 m au moment de l'essai de pompage (cote statique de la nappe : -2,66 m/TN).

L'essai de pompage a été réalisé du 15 au 18 octobre 2018 à partir du premier forage d'essai non réceptionné, le nouvel ouvrage n'ayant pas encore été réalisé. Cette période a été considérée encore en étiage et donc propice à la caractérisation de la ressource pour un projet d'alimentation en eau potable.

Comme prévu, l'essai s'est déroulé en deux phases successives comprenant un essai de puits (essai par paliers de débits croissants) et un essai de nappe (essai à débit constant).

Les résultats obtenus ont démontré la bonne réactivité de la nappe et sa bonne capacité générale.

Mené entre 69,5 et 82,5 m³/h, le pompage par paliers a permis d'estimer le débit critique du forage qui est donc ici de 55 m³/h.

Demandeur :
Commune de Reillanne
Hôtel de Ville
Rue des Ecoles
04410 REILLANNE

Géosynergie – Agence Alpes-Durance
Jouglaud-Le Poët
05200 CROTS
Courriel : yb.geosynergie@gmail.com
SIRET : 535.396.683.00026 – APE : 7112 B

L'équation des pertes de charges a montré que les pertes de charges linéaires étaient beaucoup plus faibles que les pertes de charges quadratiques, cette différence justifiant certainement la valeur du débit critique mesuré.

Concernant les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, la **transmissivité** calculée par deux méthodes différentes et complémentaires a été estimée entre **$1,38.10^{-2}$ et $1,33.10^{-3}$ m²/s**, soit une **perméabilité** comprise entre **$7,9.10^{-2}$ et $7,6.10^{-3}$ m/s**. Ces valeurs moyennes sont représentatives des bonnes caractéristiques aquifères des alluvions en place.

Il en va de même pour le coefficient d'emmagasinement qui est ici de **S = 0,39**.

Enfin, le **rayon d'influence ou rayon d'action** du forage a été estimé ici compris entre **55 et 91 m**.

Il s'agit d'une valeur élevée, qui dépasse les limites de la vallée dont la largeur est de 125 m environ, soit 50 m au plus entre le forage et le versant ouest de la vallée et 50 m entre le forage et le lit du Largue à l'est.

Dans ces conditions, force est d'admettre la présence de limites étanches et d'alimentation qui vont influencer sur le fonctionnement du forage en cours d'exploitation, comme c'est certainement déjà le cas pour le forage actuel de la Fare. Bien qu'aucune distance aux limites n'ait pu être calculée ici, cet aspect devra être pris en compte par la suite, notamment au cours de l'établissement des périmètres de protection réglementaires.

Concernant la qualité des eaux souterraines, le suivi physico-chimique simple mis en place tout au long de l'essai de pompage a montré la constance des paramètres mesurés et le caractère global et unique de la ressource aquifère sollicitée en ce point.

Les résultats de l'analyse d'eau de type P1 ont mis en évidence la bonne conformité de la ressource pour les paramètres analysés, à l'exception des données bactériologiques qui, certainement du fait des conditions inadaptées de prélèvement, sont apparues non conformes avec la présence d'*Escherichia coli*, d'entérocoques (non conforme aux limites de qualité) et de bactéries coliformes (non conformes aux références de qualité).

6.2. CONCLUSIONS

Les résultats de l'étude de faisabilité d'un nouvel ouvrage de captage sur la zone de la Fare ont démontré l'opportunité de la création d'un nouvel ouvrage de prélèvement sur la zone pour sécuriser l'ouvrage existant.

En dépit de l'absence désormais avérée d'un surcreusement alluvial sur la zone, l'épaisseur des alluvions aquifères en place est apparue suffisante pour la réalisation d'un nouveau forage.

Les caractéristiques de la nappe sont tout à fait satisfaisantes et conformes aux valeurs attendues avec, dans l'ensemble, une bonne transmissivité et un bon coefficient d'emmagasinement des alluvions, pour une hauteur de tranche d'eau exploitable de près de 6 m.

En revanche, le rayon d'influence de l'ouvrage apparaît important et sans surprise, il se pose ici la question d'un éventuel impact lié à la proximité d'une limite étanche vers l'ouest et d'une limite d'alimentation vers l'est et le lit vif du largue.

Le débit critique de l'ouvrage doit également être pris en compte dans le paramétrage à venir des cycles de fonctionnement du forage. Le débit d'exploitation devant rester limité, sauf avis contraire, à 55 m³/h pour éviter un vieillissement et un colmatage rapides du forage.

Pour les mêmes raisons, il apparaît d'ores et déjà pertinent de prévoir de placer la pompe d'exploitation le plus profondément possible entre -8,40 et -10 m/TN au droit de la partie non aquifères traversée par l'ouvrage. Cet aspect pourra être débattu et précisé le moment venu.

La validation définitive du forage en ouvrage d'exploitation reste aujourd'hui suspendue aux résultats d'une analyse d'eau « 1^{ère} adduction », qu'il convient de réaliser dans les meilleurs délais.

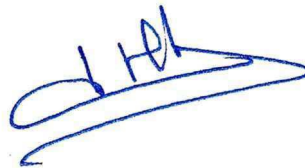
Liste des annexes :

- Rapport d'étude établi en tranche ferme ;
- Dossier de déclaration de travaux de forage - Etape 1 ;
- Récépissé de déclaration de travaux de forage ;
- Arrêté Préfectoral donnant autorisation de commencement des travaux de forage ;
- Compte rendu de la visite de terrain organisée en présence de l'Agence Française pour la Biodiversité ;
- Compte rendu de la réunion de chantier du 31/08/2019 ;
- Logs des forages ;
- Données MétéoFrance.

Nous nous tenons désormais à la disposition du Maître d'Ouvrage pour tout complément d'information éventuel.

L'Hydrogéologue / co-gérant

Yves BERTHALON



GEOSYNERGIE

Demandeur :
Commune de Reillanne
Hôtel de Ville
Rue des Ecoles
04410 REILLANNE


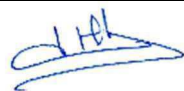
Géosynergie – Agence Alpes-Durance
Jouglaud-Le Poët
05200 CROTS
Courriel : yb.geosynergie@gmail.com
SIRET : 535.396.683.00026 – APE : 7112 B



GÉOSCIENCES & ÉNERGIES RENOUVELABLES

RAPPORT D'ETUDE

**ETUDE DE FAISABILITE
D'UN NOUVEAU FORAGE DE CAPTAGE D'EAU
SUR LA ZONE DE LA FARE
TRANCHE FERME
ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE
SUR LA COMMUNE DE REILLANNE**

 <p>OPOiBi L'INGÉNIERIE QUALIFIÉE CERTIFICAT N° 16 06 3284</p>	Indice 1	Date Décembre 2017	Rédacteur Yves BERTHALON	Visa 
---	--------------------	------------------------------	------------------------------------	--

Demandeur :
Commune de Reillanne
Hôtel de Ville
Rue des Ecoles
04410 REILLANNE

Géosynergie - Agence Alpes-Durance
Jouglard-Le Poët
05200 CROTS
Courriel : yb.geosynergie@gmail.com
SIRET : 535.396.683.00026 - APE : 7112 B

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	4
1.1. INTRODUCTION.....	4
1.2. ELEMENTS MIS EN ŒUVRE POUR MENER A BIEN LA MISSION.....	5
1.3. DOCUMENTS MIS A NOTRE DISPOSITION.....	5
2. ELEMENTS DE LOCALISATION	5
3. ELEMENTS DE GEOLOGIE.....	7
3.1. DONNEES GENERALES.....	7
3.2. RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE DE 1989.....	8
3.2.1. DONNEES D'INTRODUCTION	8
3.2.2. RESULTATS DE LA PROSPECTION.....	8
3.3. DONNEES CONCERNANT LE FORAGE DE LA FARE.....	10
3.4. RESULTATS DES FORAGES REALISES EN 2007	12
4. HYDROGEOLOGIE	14
4.1. DONNEES GENERALES.....	14
4.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE LOCAL.....	14
4.2.1. DONNEES CONCERNANT LA ZONE DE LA FARE	14
4.2.2. DONNEES CONCERNANT LA ZONE DE VALVISSORGUE.....	15
5. RESULTATS DE LA PROSPECTION GEOPHYSIQUE	16
5.1. GENERALITES	16
5.2. PRINCIPE D'INTERVENTION	16
5.2.1. PRINCIPE DE PROSPECTION PAR SISMIQUE REFRACTION	16
5.2.2. PRINCIPE DE PROSPECTION PAR PANNEAUX ELECTRIQUES	17
5.3. LOCALISATION DES SONDAGES ET DES PROFILS GEOPHYSIQUES	19
5.3.1. ZONE DE LA FARE	19
5.3.2. ZONE DE VALVISSORGUE	20
5.4. RESULTATS DE LA PROSPECTION GEOPHYSIQUE	21
5.4.1. REMARQUES PRELIMINAIRES	21
5.4.2. DONNEES CONCERNANT LA ZONE DE LA FARE	21
5.4.2.1. RESULTAT DES SONDAGES SISMIQUE REFRACTION	21
5.4.2.2. RESULTATS DES PANNEAUX ELECTRIQUES.....	22
5.4.3. DONNEES CONCERNANT LA ZONE DE VALVISSORGUE.....	24
5.4.3.1. REMARQUES PRELIMINAIRES	24
5.4.3.2. RESULTAT DES SONDAGES SISMIQUE REFRACTION	24
5.4.3.3. RESULTATS DES PANNEAUX ELECTRIQUES.....	25

6. FAISABILITE D'UN FORAGE DE RECONNAISSANCE ET D'ESSAI	26
6.1. ELEMENTS DE FAISABILITE.....	26
6.2. SUITE A DONNER A LA MISSION.....	27
7. CONCLUSIONS	28

1. INTRODUCTION

1.1. INTRODUCTION

Notre mission entre dans le cadre d'une démarche de sécurisation du captage de la Fare qui est ici l'unique point d'alimentation en eau potable de la commune de REILLANNE.

Initialement, le captage de la Fare consistait en un drain disposé en pied de versant, en rive droite du torrent, qui collectait les eaux d'une source venant au jour à la base d'un paquet glissé en masse dans la pente en amont.

Mis en œuvre à la fin des années 1960, l'infrastructure de ce captage existe encore aujourd'hui et consiste en un drain, en sept regards de visite et en une bache de pompage.

Sujet à un fort risque de tarissement en période d'étiage estival, l'ouvrage n'est plus exploité aujourd'hui et a été remplacé par un forage de gros diamètre équipé d'un tubage en acier inox Ø 600 mm, profond de 19 m. Ce nouvel ouvrage, réalisé en 1990, et implanté plus ou moins en partie centrale de la plaine alluviale, à 60 m environ en aval de l'ancien drain, capte la nappe d'accompagnement du Largue dont la présence est avérée sur la zone.

Avec un seul point d'exploitation, l'alimentation du réseau d'eau potable de REILLANNE est ici fortement vulnérable, sensible notamment aux risques de pollution de la ressource en eau et aux risques de perte de capacité de production de son unique ouvrage de captage.

Très récemment d'ailleurs, en juillet 2016, le colmatage du forage a conduit à une situation critique au cours de laquelle la sécurisation de l'alimentation du réseau AEP a été mise à mal du fait de la perte de productivité de l'ouvrage.

Dans un premier temps, la municipalité de REILLANNE a mis en place un protocole de surveillance et d'ajustement des débits de prélèvement afin de gérer au mieux les risques de pénurie.

Mais rapidement, des travaux de nettoyage ont dû être entrepris qui ont permis après deux interventions successives (juillet 2016 et mars 2017) de retrouver des conditions d'exploitation du captage satisfaisantes.

Pour assurer la bonne protection du point de prélèvement, d'autres démarches sont désormais programmées qui devraient permettre à terme de sécuriser l'alimentation en eau de REILLANNE. Il s'agit tout autant de travaux que de démarches réglementaires et d'études complémentaires, qui vont consister notamment en :

- **l'abattage des arbres et arbustes** situés à proximité du forage, dont les racines sont certainement responsables du colmatage des crépines de l'ouvrage ;
- **l'élaboration de la procédure réglementaire de mise en protection** de la zone de captage (dossier en cours), au terme de laquelle seront définis les périmètres de protection du point d'eau ;
- **une réflexion sur la mise en place d'un protocole d'exploitation de la nappe du Largue en ce point** dans le respect des caractéristiques et des capacités du forage et en prenant en compte le marnage saisonnier du niveau piézométrique ;
- et enfin, la réalisation d'une **étude de faisabilité d'un nouveau forage d'exploitation sur la zone de La Fare**, objet de la présente mission. C'est dans ce cadre précisément que nous intervenons ici.

Il ne s'agira en aucun cas de chercher à augmenter le volume annuel de prélèvement d'eau dans la nappe, le secteur étant classé en zone de répartition des eaux (ZRE), mais plus justement d'améliorer et de sécuriser les conditions d'exploitation de la ressource aquifère sur la zone.

Nous appuyant sur une solide analyse de terrain et sur une synthèse bibliographique et cartographique détaillée, et intégrant les résultats de la prospection géophysique réalisée au mois de juin 2017 par le Cabinet RISSER, nous présentons ci-après les résultats obtenus dans le cadre de notre intervention.

Demandeur :
Commune de Reillanne
Hôtel de Ville
Rue des Ecoles
04410 REILLANNE

Géosynergie – Agence Alpes-Durance
Jouglard-Le Poët
05200 CROTS
Courriel : yb.geosynergie@gmail.com
SIRET : 535.396.683.00026 – APE : 7112 B

1.2. ELEMENTS MIS EN ŒUVRE POUR MENER A BIEN LA MISSION

Il a été réalisé pour mener à bien notre mission :

- plusieurs visites de terrain organisées tout au long de l'année écoulée notamment dans le cadre du suivi des travaux de nettoyage et de décolmataje du forage en mars 2017 et au moment de la réalisation des profils sismiques et des panneaux électriques en juin 2017 ;
- une synthèse bibliographique et cartographique détaillée.

1.3. DOCUMENTS MIS A NOTRE DISPOSITION

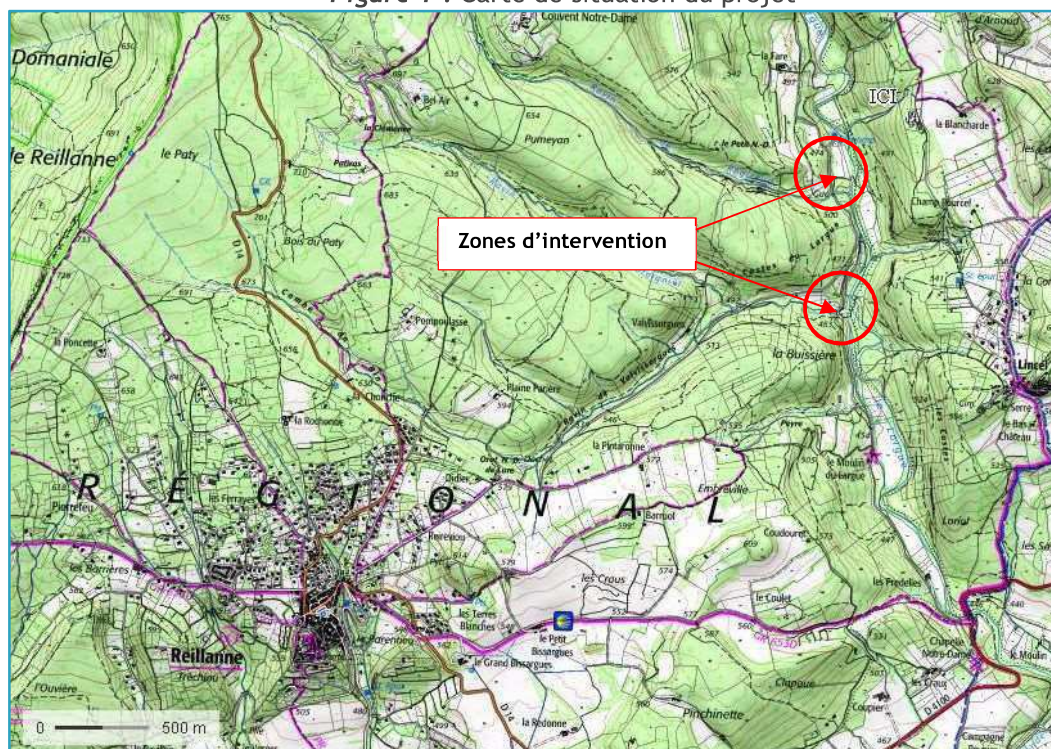
Afin de disposer des éléments nécessaires à la bonne compréhension du site, plusieurs documents ont été mis à notre disposition, avec :

- l'ensemble des éléments collectés dans le cadre de l'élaboration du dossier de saisine de l'Hydrogéologue Agréé (phase 1 de la procédure), et notamment le rapport du cabinet Rostan de 1989 et le rapport du bureau d'études Tethys Hydro de 2007 ;
- les rapports géologiques antérieurs établis par les Hydrogéologues Agréés qui sont déjà intervenus sur la zone (Pairis, Arlhac, ...) ;
- le rapport d'intervention du Cabinet RISSER chargé de la campagne de prospection géophysique, qui est annexé au présent rapport.

2. ELEMENTS DE LOCALISATION

La zone de captage de La Fare est située à 4 km environ au nord-est du village de REILLANNE, au creux de la vallée du Largue, vers 462 m d'altitude, au sud-est en contrebas de la ferme de La Fare.

Figure 1 : Carte de situation du projet



La zone d'intervention n'a concerné que la plaine alluviale du Largue, la cible de captage retenue concernant la nappe d'accompagnement du cours d'eau dont la capacité semble importante même en période de déficit en eau avéré (Cf. étiage de l'été 2016).

Demandeur :
Commune de Reillanne
 Hôtel de Ville
 Rue des Ecoles
 04410 REILLANNE

Géosynergie – Agence Alpes-Durance
 Jouglard-Le Poët
 05200 CROTS
 Courriel : yb.geosynergie@gmail.com
 SIRET : 535.396.683.00026 – APE : 7112 B

Deux secteurs ont été pressentis pour la conduite de l'étude. Il s'agit de :

- de la plaine située immédiatement en aval au sud de la zone de captage de La Fare, entre le forage actuellement en exploitation et la confluence avec le ravin de Régiraud ;
- d'une zone plus étroite en aval immédiat d'un secteur actuellement occupée par une exploitation maraîchère et située plus ou moins à la confluence du ravin de Valvissorgues.

Ces deux zones sont localisées sur le territoire de la commune de REILLANNE. Elles présentent a priori un certain intérêt géologique et hydrogéologique, une certaine garantie de la présence d'une ressource en eau souterraine de bonne capacité et tout au moins pour la zone de La Fare, une possibilité de raccordement simple et économique au réseau d'adduction.

Figure 2 : Zones d'intervention - La Fare à droite - Valvissorgue à gauche



3. ELEMENTS DE GEOLOGIE

3.1. DONNEES GENERALES

La zone d'étude appartient au flanc septentrional du synclinal de FORCALQUIER qui s'étire selon un axe est-ouest depuis la vallée de la Durance jusqu'à CERESTE.

Au droit de la zone d'intervention, le substratum rocheux consiste en des calcaires lacustres vacuolaires entrecoupés de niveaux de marnes grises de l'Oligocène connus sous le nom de « Calcaires de Reillanne ».

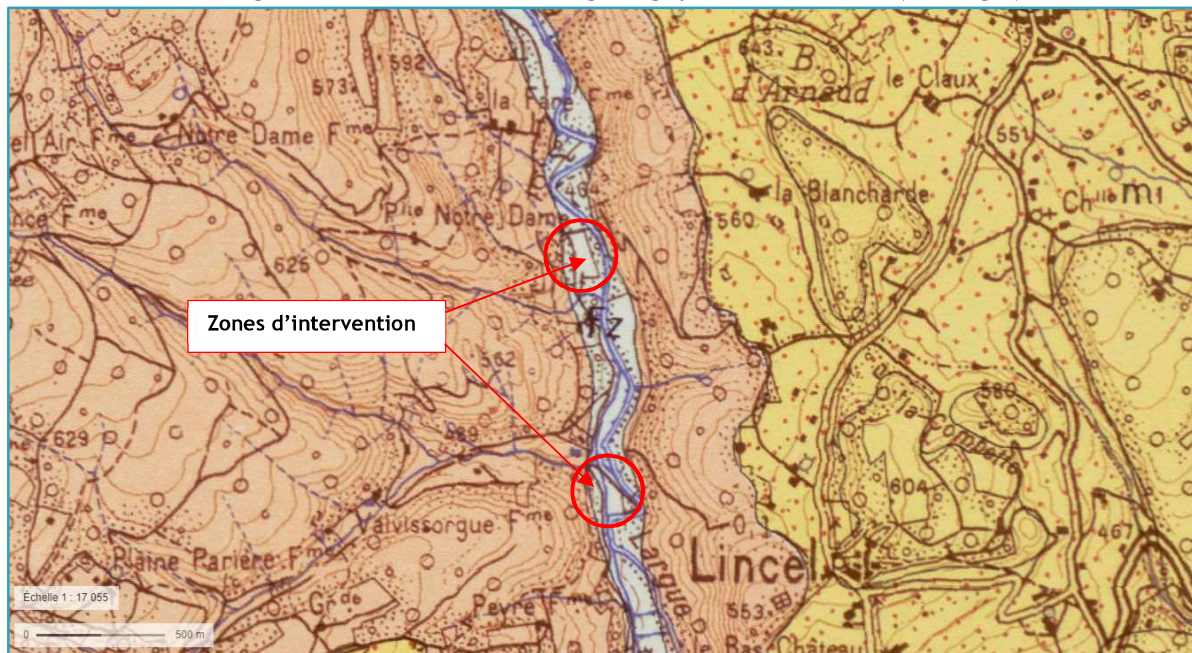
Ces matériaux, établis en bancs successifs relativement réguliers, présentent un pendage de 10° à 20° vers le sud-est.

Recouverts au cœur de la structure synclinale par les molasses du Burdigalien, ils affleurent largement dans le paysage aux abords du secteur d'étude, depuis le Pont du Largue sur la RD 4100 plus au sud jusque très en amont vers le nord sur la commune d'AUBENAS LES ALPES. Ils forment ainsi l'ossature des reliefs qui dominent le torrent du Largue et sont visibles dans les versants redressés qui encadrent la vallée.

Dans la plaine du Largue, les formations rocheuses sont en revanche entièrement occultées par des épandages d'alluvions torrentielles grossières à éléments calcaires, qui sont recouvertes à leur tour par des colluvions en pied de pente et par une couche de limons d'inondation d'épaisseur généralement modérée sur l'essentiel de la plaine.

Il est intéressant de noter à ce stade de notre analyse que le lit du Largue traverse du nord au sud le flanc septentrional du synclinal de FORCALQUIER, depuis LE REVEST DES BROUSSES jusqu'à la vallée de l'Entrème, suivant une direction constante plus ou moins nord-sud qui semble venir en continuité des axes de fracture du champ de failles de BANON situé plus au nord.

Figure 3 : Extrait de la carte géologique de REILLANNE (éd. Brgm)



Enfin, rappelons qu'il existe sur la zone de La Fare, en rive droite du Largue, une importante masse glissée qui correspond à un mouvement de grande ampleur à l'échelle du versant. Aujourd'hui stabilisé, il s'agit manifestement d'un glissement bancs sur bancs en aval pendage vraisemblablement engendré par l'érosion par le Largue de la butée de pied des strates calcaires et marneuses du substratum. Ainsi déstabilisés, les bancs rocheux se sont effondrés sous leur propre poids, glissant sur une surface de rupture représentée ici par un banc d'argiles grises clairement identifié sur la zone. Parfaitement stable, l'amas rocheux apparaît aujourd'hui entièrement déstructuré et disloqué recouvert à sa base en pied de pente par les alluvions récentes du torrent.

Demandeur :
Commune de Reillanne
Hôtel de Ville
Rue des Ecoles
04410 REILLANNE

Géosynergie – Agence Alpes-Durance
Jouglaud-Le Poët
05200 CROTS
Courriel : yb.geosynergie@gmail.com
SIRET : 535.396.683.00026 – APE : 7112 B

Remarques : aucune étude antérieure n'a concerné la plaine du Largue à la confluence du vallon de Valvissorgue dont la caractérisation ne peut s'appuyer que sur les données générales du présent paragraphe et sur les résultats de la récente prospection géophysique (Cf. chapitre 5).

En revanche, la plaine de La Fare a fait l'objet par le passé d'études et de mesures relativement détaillées qu'il nous semble utile ici de prendre en compte pour une meilleure compréhension du contexte géologique et hydrogéologique local.

3.2. RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE DE 1989

3.2.1. DONNEES D'INTRODUCTION

C'est dans le cadre d'une étude réalisée par le cabinet Rostan en 1989, qui portait sur « l'amélioration du captage communal de La Fare », qu'a été réalisée une campagne de reconnaissance géophysique par sondages électriques.

Ainsi, huit sondages électriques ont été mis en œuvre sur le site de La Fare à l'aide d'un géorésistivimètre ELER du Laboratoire des Ponts et Chaussées de manière à établir deux profils géologiques interprétatifs du sous-sol sur la zone.

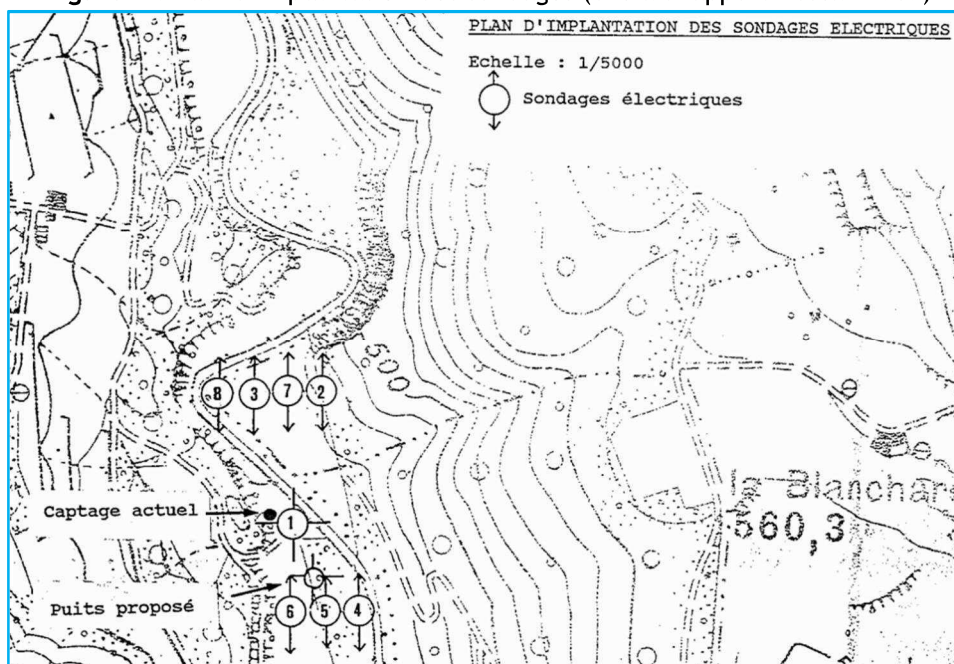
Les sondages ont été réalisés selon la méthode SCHLUMBERGER, avec des lignes de mesure AB de 80 à 400 m, orientées nord-sud selon l'axe de la vallée.

3.2.2. RESULTATS DE LA PROSPECTION

Au terme de la prospection, jusqu'à six terrains successifs ont ainsi été identifiés qui présentent des valeurs de résistivité comprises entre 30 et 600 $\Omega.m$, avec (ρ la résistivité des horizons traversés et e leur épaisseur) :

- Des limons superficiels : $30 \Omega.m < \rho < 120 \Omega.m$ et $0,40 m < e < 0,90 m$;
- Des alluvions graveleuses sèches : $150 \Omega.m < \rho < 600 \Omega.m$ et $0,40 m < e < 5,60 m$;
- Une lentille limoneuse : $\rho = 45 \Omega.m$ et $e = 0,90 m$;
- Des alluvions graveleuses saturées : $50 \Omega.m < \rho < 125 \Omega.m$ et $3,00 m < e < 17,00 m$;
- Le substratum marneux : $30 \Omega.m < \rho < 250 \Omega.m$;

Figure 4 : Plan d'implantation des sondages (extrait rapport Rostan 1989)



Le sondage électrique n° 1 (SE1) n'a pu à l'époque être interprété de façon fiable, les mesures ayant été influencées très vraisemblablement par la présence d'un ouvrage enterré sur la zone (drain ou canalisation, ...).

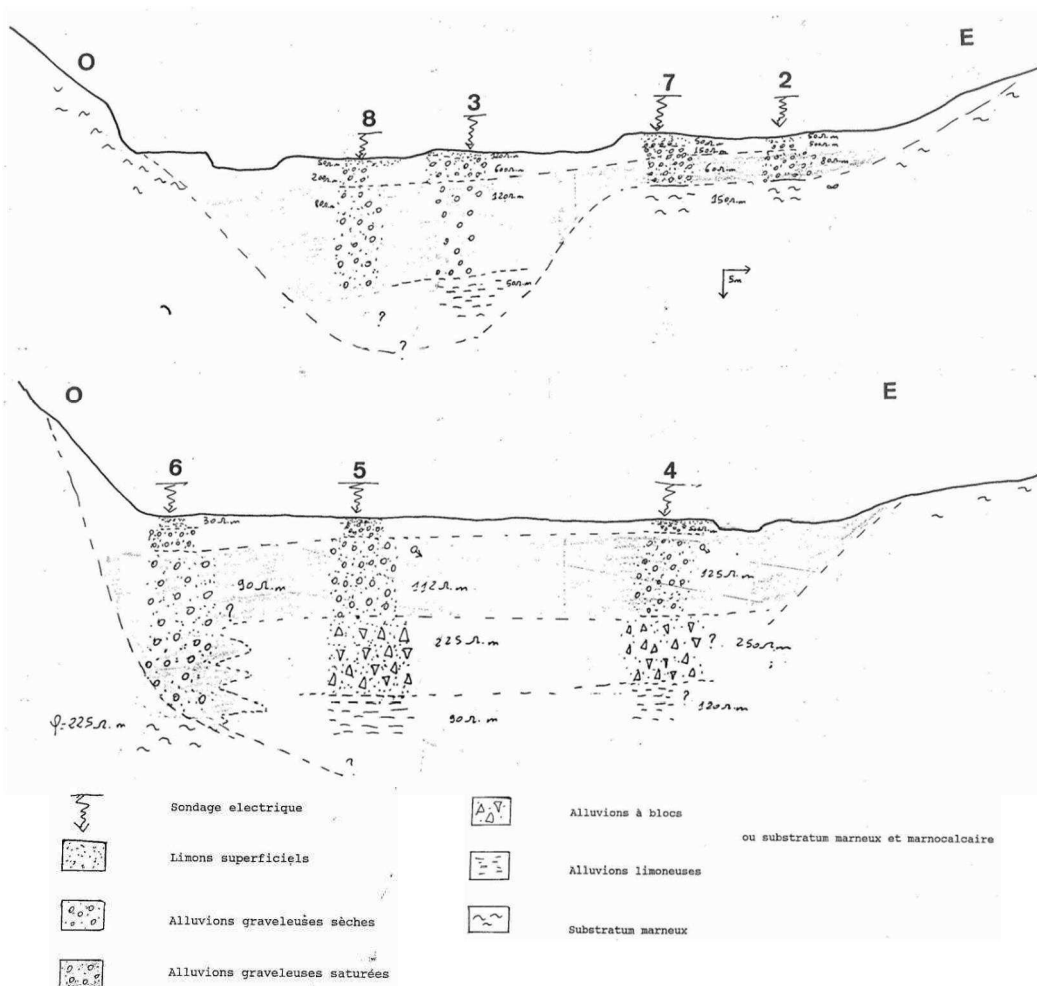
Néanmoins, au terme de l'analyse des résultats, deux profils géologiques interprétatifs ont pu être proposés, avec :

- Pour les sondages SE2, SE7, SE3 et SE8, situés au nord de l'actuelle zone de captage, la présence du substratum rocheux à faible profondeur en partie est du profil, dont le toit plonge rapidement en partie centrale pour redevenir affleurant à l'ouest dans le lit du Largue.

Au regard de ces résultats, le remplissage alluvionnaire présente une épaisseur maximale de l'ordre de 15 m en partie centrale de la vallée. Et en ce même point, au-delà de 20 m, il existe un horizon très conducteur qui peut être attribuable aux argiles du substratum en place ou à un colmatage argileux du fond de la vallée ;

- Pour les sondages SE4, SE5 et SE, situés en partie sud de l'actuelle zone de captage, la mise en évidence d'une épaisseur maximale du remplissage alluvial, de l'ordre de 15 m également, qui repose d'abord sur un niveau résistant, puis sur un horizon conducteur, qui ont été attribués :
 - o Soit à un remplissage alluvial à blocs surmontant un niveau argileux ;
 - o Soit au substratum marneux et argileux en place ;
 - o Soit au substratum marneux recouvert par des matériaux issus du glissement identifié en rive droite du Largue.

Figure 5 : Profils géologiques interprétatifs (extraits rapport Rostan 1989)



3.3. DONNEES CONCERNANT LE FORAGE DE LA FARE

Le forage de La Fare a été réalisé avec technique Benoto en 1990 par l'entreprise CINQUIN sous maîtrise d'œuvre du Conseil Général des Alpes de Haute Provence et sa mise en œuvre est intervenue immédiatement à l'issue de l'étude Rostan de 1989.

L'ouvrage a été implanté en partie centrale de la plaine du Largue, à 80 m environ en aval au sud-est du drain de la source de La Fare.

Figure 6 : Plan d'implantation du forage (vue aérienne)



Les résultats des travaux de forage ont permis de construire le log suivant :

- De 0 à 0,80 m des limons graveleux d'épandage ;
- De 0,80 à 4,50 m des alluvions graveleuses ;
- De 4,50 à 4,70 m des limons à débris organiques ;
- De 4,70 à 6,20 m des alluvions sablo-graveleuses ;
- De 6,20 à 8,00 m des calcaires fortement altérés ;
- De 8,00 à 9,20 m des marnes calcaires grises compactes ;
- De 9,20 à 20,00 m une alternance de calcaires et de marnes en place.