

COMMUNE DE NOVACELLES (63)

S.I.A.E.P. DU HAUT-LIVRADOIS

AVIS HYDROGEOLOGIQUE COMPLEMENTAIRE

Forage de Novacelles

Marc CHALIER

Hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique
pour le département du Puy-de-Dôme

(Février 2018)

SOMMAIRE

1. ESSAI DE PUTS	4
2. ESSAI DE NAPPE DE JUILLET 2016	8
3. ESSAIS DE SEPTEMBRE 2016	10
4. SIMULATION D'UN REGIME D'EXPLOITATION	13
5. AVIS	15

Lors d'un avis précédent daté du 10 janvier 2011, j'avais émis un avis favorable sur le plan sanitaire à l'utilisation du forage de *Novacelles* pour l'alimentation en eau potable du SIAEP du *Haut-Livradois*, sous réserve toutefois que l'eau soit traitée et/ou diluée. Elle est en effet agressive et présente des teneurs en fer et surtout en manganèse supérieures aux références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

Par contre, sur la base des résultats de l'essai par pompage de longue durée réalisé au mois de juin 2007, il semblait certain que le régime d'exploitation préconisé par le bureau d'études maître d'œuvre de la réalisation du forage (15 m³/h appliqué 16 h par jour) soit incompatible avec les potentialités de la ressource. L'essai de nappe conduit au débit moyen de 14,6 m³/h avait mis en évidence une limite étanche atteinte après une trentaine d'heures de pompage. A l'issue du pompage, la très lente remontée du niveau dynamique soulignait la mauvaise réalimentation de l'aquifère.

Des pompages complémentaires apparaissaient nécessaires pour établir un régime d'exploitation compatible avec les potentialités de la ressource qui apparaissaient limitées et très inférieures aux débits instantanés produits par le forage.

En préalable à ces pompages complémentaires et ce nouvel avis, une visite du site a été réalisée le 22 septembre 2015 en présence de M. Patrick Grangier (Président du SIAEP), M. Laurent Bachelerie (maire de Novacelles et vice-président du SIAEP), Mme. Peggy Vogt (Egis Eau) et Mme. Agnès Picquenot (ARS).

Sous maîtrise d'œuvre du bureau d'études EGIS Eau, le syndicat a fait réaliser les pompages complémentaires par l'entreprise Forages Massé. Ceux-ci se sont déroulés durant les mois de juillet 2016 et septembre 2016. Les données brutes nous ont été transmises sous forme de fichier Excel. Leur interprétation rapide a été faite par nos soins.

Le forage de Novacelles, a été réalisé en mai 2007. Il a été implanté à 2,4 km au sud-est du bourg, au droit d'un linéament identifié en photo-aérienne.

Ce linéament, reconnu en géophysique, se présente comme une anomalie verticale conductrice qui a été interprétée comme une structure appartenant à un système de failles en extension (graben d'*Arlanc*), a priori susceptible de présenter des ouvertures et de constituer un axe de drainage pour les eaux souterraines.

Le forage a reconnu sur 80 m de profondeur un aquifère de socle fissuré, captif, avec des premières venues d'eau vers 46 m de profondeur. L'ouvrage est équipé d'une colonne en PVC de diamètre 165/180 mm, crépinée entre 45 m et 80 m.

Initialement le forage était équipé d'une pompe d'exhaure d'un débit nominal de 7 m³/h pour une HMT d'environ 30 m (modèle SP8A-5 de chez Grundfos) posée à 20 m/sol de profondeur avec une colonne souple.

Suite à la réunion du 22/09/2015, il a été convenu de mettre en œuvre une pompe de 5 m³/h à 43 m de profondeur, avant la zone crépinée.

En préalable à la réalisation des nouveaux essais par pompage, l'entreprise Forages Massé a donc modifié l'équipement du forage et descendu une pompe KSB type SPA-12 à 45,85 m/bride (cote de la profondeur d'aspiration, d'après le compte rendu de l'entreprise). La colonne d'exhaure souple a été remplacée par une colonne en inox 316 L.

Les essais par pompage complémentaires ont été constitués :

- d'un essai de puits comportant 4 paliers enchaînés ;
- d'un essai de nappe au débit constant de 6,8 m³/h comprenant 70 h de pompage ;
- d'un essai simulant sur 3 cycles, une exploitation du forage 15 h par jour au débit moyen de 6,6 m³/h (chaque phase de pompage étant séparée d'une remontée de 9 h).

1. ESSAI DE PUIITS

L'essai de puits a été effectué le 20 juillet 2017.

Il a comporté 4 paliers enchaînés comprenant chacun 1 h de pompage à débit constant suivi d'une heure de remonté.

Contrairement à l'essai initial de juin 2007 qui avait testé l'ouvrage sur une gamme de débits allant de 7,7 m³/h à 30 m³/h, les débits de ce nouvel essai ont été choisis afin d'être plus compatibles avec les potentialités de l'aquifère. Les débits successivement appliqués ont été de 2,7 m³/h, 3,9 m³/h, 5,1 m³/h et 7,1 m³/h. Les résultats sont retranscrits dans le *tableau 1*.

SIAEP du Haut-Livradois - Forage de Novacelles - Essai de puits - 20/07/2016				
NIVEAU STATIQUE INITIAL : 16,13 m/repère				
	Palier 1	Palier 2	Palier 3	Palier 4
Q (m ³ /h)	2,7	3,9	5,1	7,1
Durée du palier (h)	1	1	1	1
Rabatement fin de pompage (m)	1,680	2,580	3,740	5,520
Rabatement spécifique mesuré (h/m ²)	0,6203	0,6658	0,7298	0,7830
Débit spécifique ((m ³ /h)/m)	1,6	1,5	1,4	1,3
Durée de la remontée (h)	1	1	1	1
Rabatement résiduel après 1 heure de remontée (m)	0,07	0,09	0,15	0,17

Tableau 1. Caractéristiques de l'essai de puits du 20/07/16 sur le forage de Novacelles.

La courbe, rabattements spécifiques (s/Q où s est le rabattement à la fin d'un palier et Q le débit d'exhaure du palier) en fonction du débit d'exhaure du palier (Q), peut être ajustée par une droite ayant pour équation :

$$s/Q = 0,038122Q + 0,520936 \quad (\text{cf. Figure 1})$$

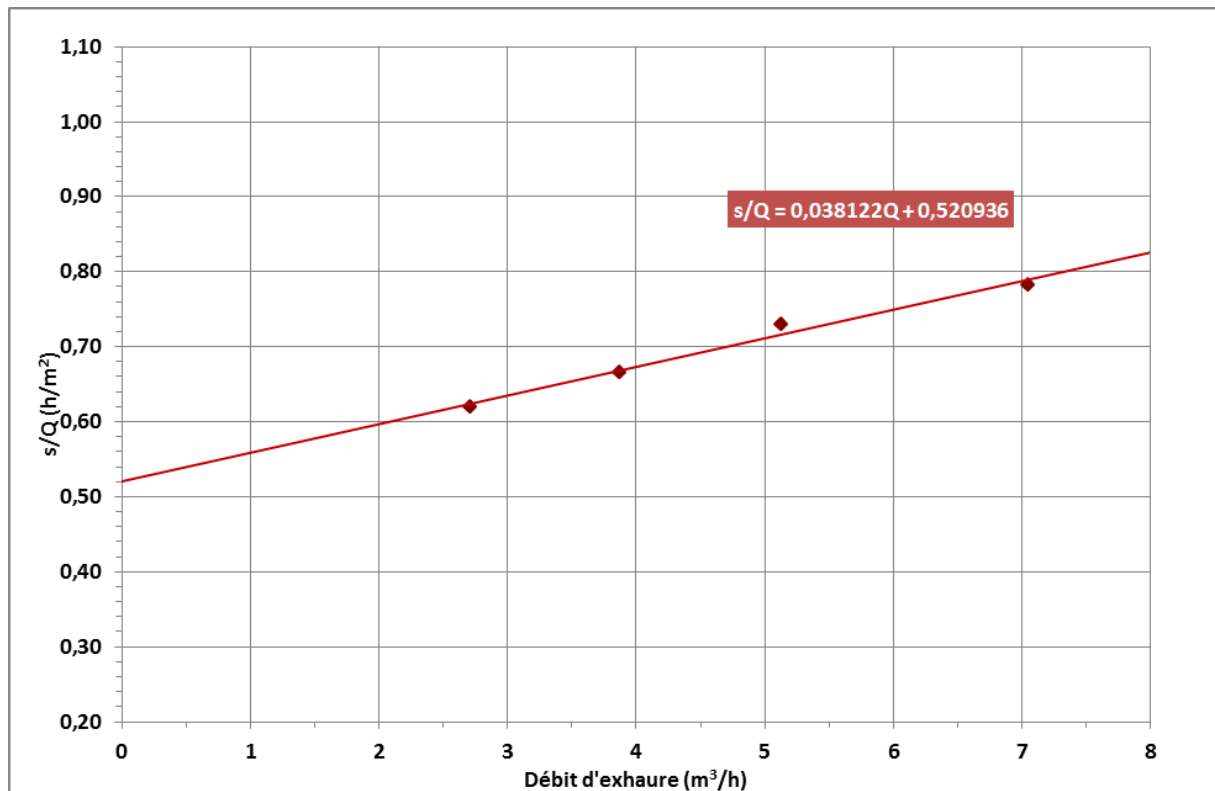


Figure 1. Courbe $s/Q=f(Q)$ déduite de l'essai de puits du 20/07/16 sur le forage de Novacelles.

La pente de cette droite correspond au coefficient de pertes de charge quadratiques ($C = 0,0381$), l'ordonnée à l'origine représente le coefficient de pertes de charge linéaires ($B = 0,521$).

Le rabattement s à l'issue d'une heure de pompage s'exprime par l'équation :

$$s = BQ + CQ^2$$

soit dans le cas présent $s = 0,521Q + 0,0381Q^2$ (cf. Figure 2)

Le point d'équivalence des pertes de charge quadratique et linéaire ($CQ^2=BQ$), correspondant à un **débit critique, s'établit à 13,7 m³/h.**

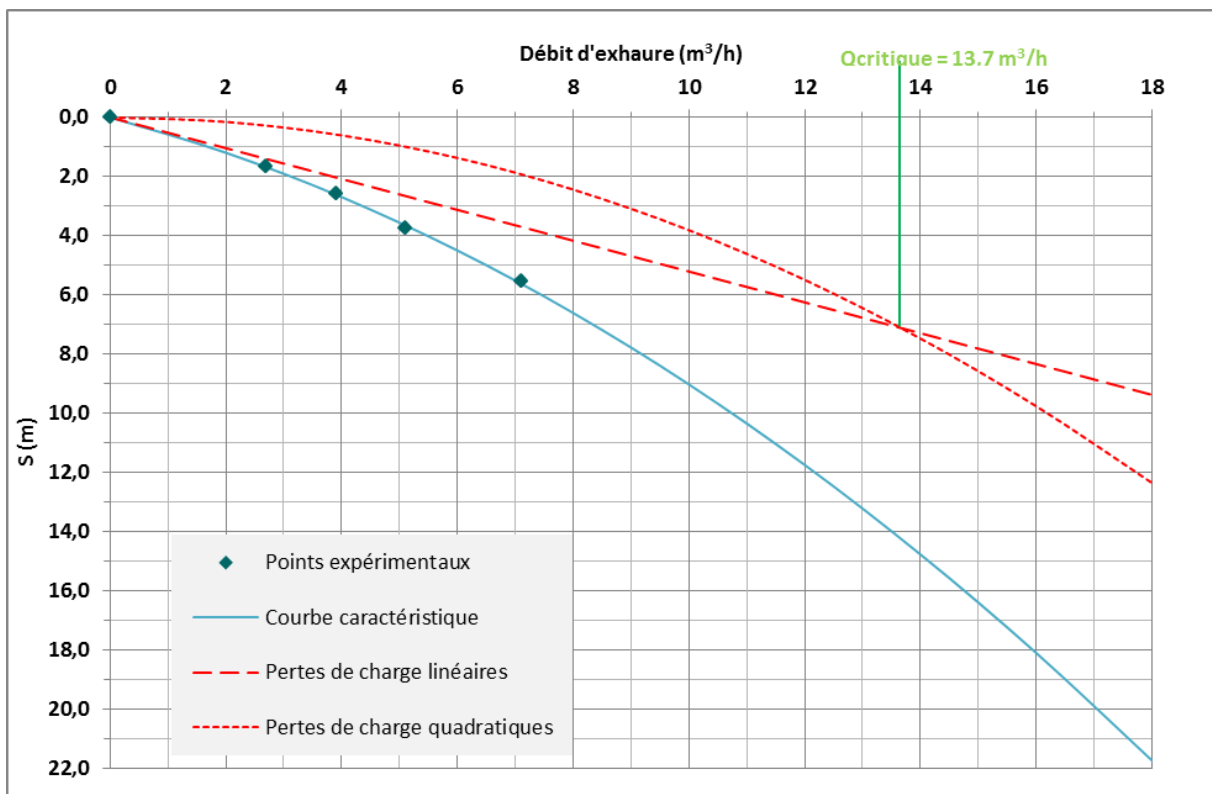


Figure 2. Courbe caractéristique du forage de Novacelles déduite de l'essai de puits du 20/07/16.

Courbe caractéristique - 20/07/2016				
Coefficient perte de charge linéaire B (h/m ²)	0,520936			
Coefficient perte de charge quadratique C (h ² /m ⁵)	3,81E-02			
Q (m ³ /h)	2,7	3,9	5,1	7,1
Rabatement calculé (m) $s = BQ + CQ^2$	1,69	2,59	3,67	5,57
Pertes de charge linéaire (m)	1,41	2,02	2,67	3,67
% perte de charge linéaire (m)	83	78	73	66
Pertes de charge quadratique (m)	0,28	0,57	1,00	1,89
% perte de charge quadratique (m)	17	22	27	34
Rabatement spécifique calculé (h/m ²)	0,6242	0,6687	0,7163	0,7897

Tableau 2. Interprétation de l'essai de puits du 20/07/16 sur le forage de Novacelles. Calcul des pertes de charge.

Le coefficient de perte de charge linéaire est sensiblement équivalent à celui déterminé à l'issue de l'essai de puits de juin 2007 (0,583 h/m²). Par contre, on note une légère augmentation du coefficient de perte de charge quadratique ($2,73 \cdot 10^{-2}$ h²/m⁵ en juin 2007). Il en découle une légère altération des performances du forage illustré par la *figure 3* qui peut résulter d'un début de colmatage. Cette dégradation est négligeable tant que le débit d'exhaure n'excède pas le débit critique.

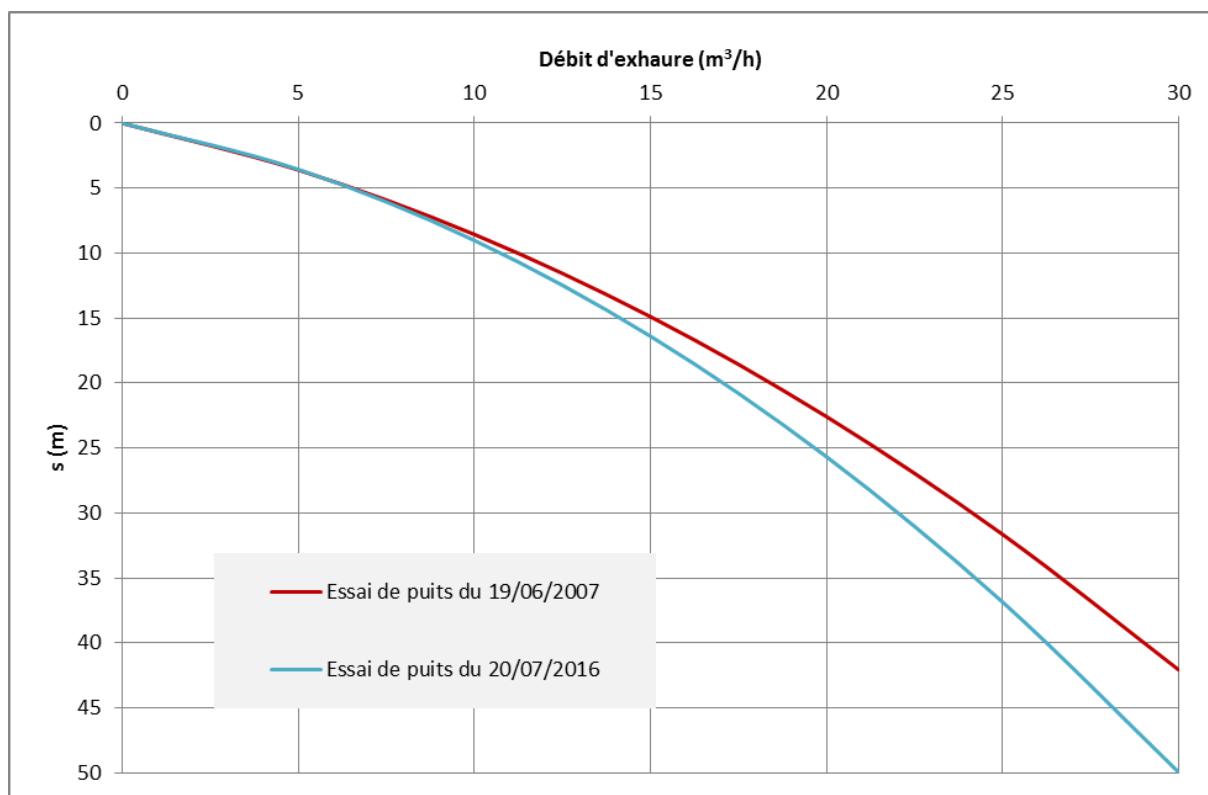


Figure 3. Comparaison des courbes caractéristiques du forage de Novacelles déduites de l'essai de puits du 19/06/2007 et du 20/07/16.

2. ESSAI DE NAPPE DE JUILLET 2016

A l'issue de cet essai de puits, un essai de longue durée comprenant 70 h de pompage au débit moyen de $6,8 \text{ m}^3/\text{h}$ a été réalisé du 25/07/2016 à 13h55 au 28/07/2016 à 12h00. Les résultats sont retranscrits dans le *tableau 3*.

La remontée a été suivie sur seulement 1h50.

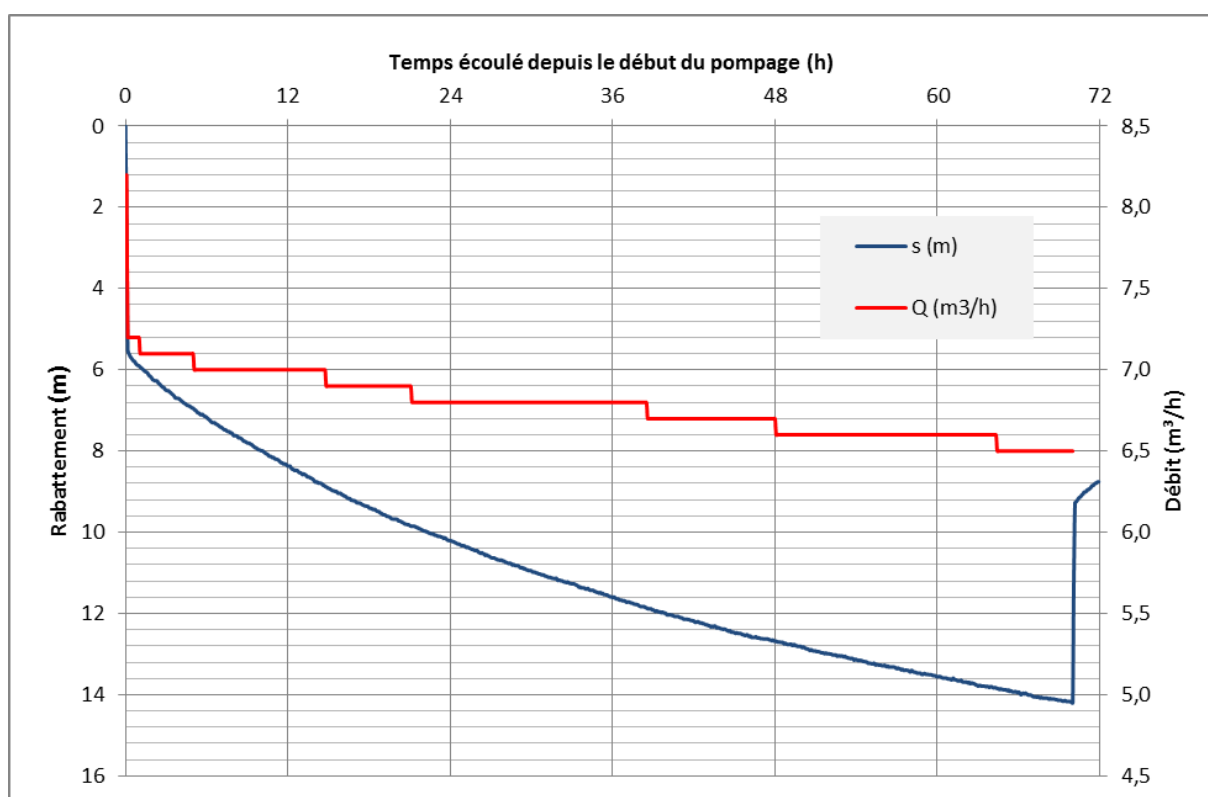


Figure 4. Essai de nappe 70 h sur le forage de Novacelles (juillet 2016). Evolution du rabattement en fonction du temps de pompage représenté sur échelle arithmétique. L'évolution du débit d'exhaure est figurée sur l'axe vertical secondaire.

	Forage de Novacelles
Niveau statique initial (m/repère) :	13,14
Durée du pompage	70 h
Débit moyen d'exhaure (m ³ /h)	6,77
Rabatement à l'issue du pompage (m)	14,2
Transmissivité descente (m ² /s)	
- Sur les 90 premières minutes de pompage	6,9.10 ⁻⁴
- De 25 à 70 heures de pompage	4,0.10 ⁻⁵
Durée de la remontée	1 h 50 min
Rabatement résiduel à l'issue de la remontée (m)	8,76
Transmissivité remontée (m ² /s)	8,2.10 ⁻⁴

Tableau 3. Caractéristiques et interprétation de l'essai de nappe de juillet 2016 sur le forage de Novacelles.

La figure 5 montre l'évolution des rabattements en fonction du temps représenté en fonction du logarithme du temps de pompage.

Sur les 90 premières minutes de pompage l'évolution des rabattements est linéaire en fonction du logarithme du temps. La pente de cette droite représente un paramètre hydrodynamique de l'aquifère appelé transmissivité, noté T, qui s'exprime en m²/s. La transmissivité régit le flux d'eau qui s'écoule par unité de largeur de la zone saturée d'un aquifère continu et par unité de gradient hydraulique. La transmissivité que l'on peut en déduire en utilisant l'équation de Copper-Jacob est de 6,4.10⁻⁴ m²/s. Pour mémoire lors de l'essai de nappe initial conduit au débit de 14,6 m³/h, nous avons calculé une valeur comparable de la transmissivité de 7,59.10⁻⁴ m²/s, mais qui s'appliquait de 2,5 h à 24 h de pompage.

Après 90 min de pompage, le cône de dépression du forage s'étendant, il atteint une zone moins transmissive. Les rabattements augmentent alors plus fortement en fonction du temps de pompage. La transmissivité calculée sur entre 25 et 70 heures de pompage est de 4.10⁻⁵ m²/s.

Pour mémoire, lors de l'essai de juin 2007, après 30 h de pompage, les rabattements augmentaient alors beaucoup plus fortement en fonction du temps de pompage et la transmissivité calculée sur les 30 dernières heures de pompage était de 8,23.10⁻⁶ m²/s.

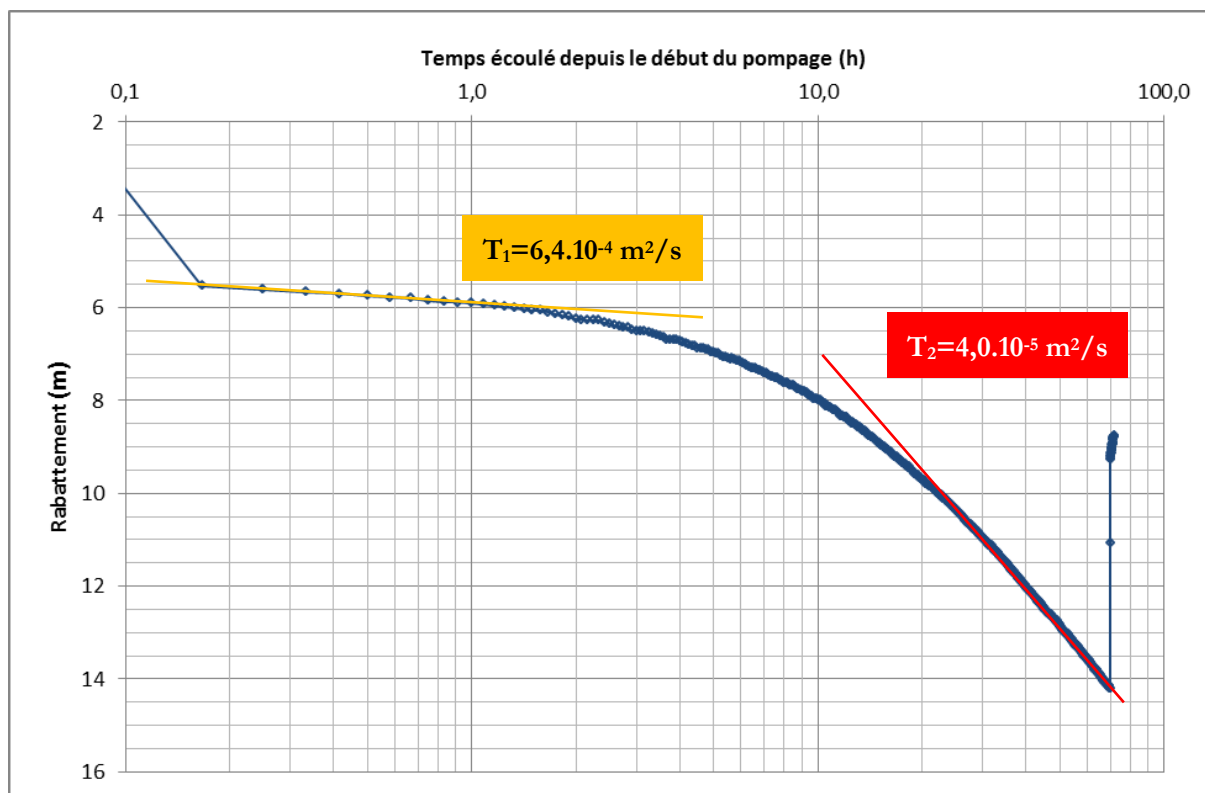


Figure 5. Courbe $s=flog(t)$ pour l'essai de nappe de juillet 2016 sur le forage de Novacelles. Calcul de la transmissivité.

Le temps de suivi de la remontée de 1h50 est trop court pour pouvoir en tirer des informations. La valeur de transmissivité relativement plus forte ($8,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) déduite de cette phase de remontée n'est peut-être pas représentative.

3. ESSAIS DE SEPTEMBRE 2016

Les pompages ont été complétés par un essai comprenant 3 cycles enchaînés, chaque cycle comportant 15 h de pompage et 9 h de remontée (4h15 pour le dernier cycle). Le débit d'exhaure moyen était de l'ordre $6,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le choix de 15 heures de pompage est justifié par la courbe de la figure 5 qui montre que le rabattement augmentent beaucoup pour des temps plus longs.

L'essai s'est déroulé du 26/09/16 au 29/09/2016. Ses caractéristiques sont résumées dans la figure 6 et le tableau 4.

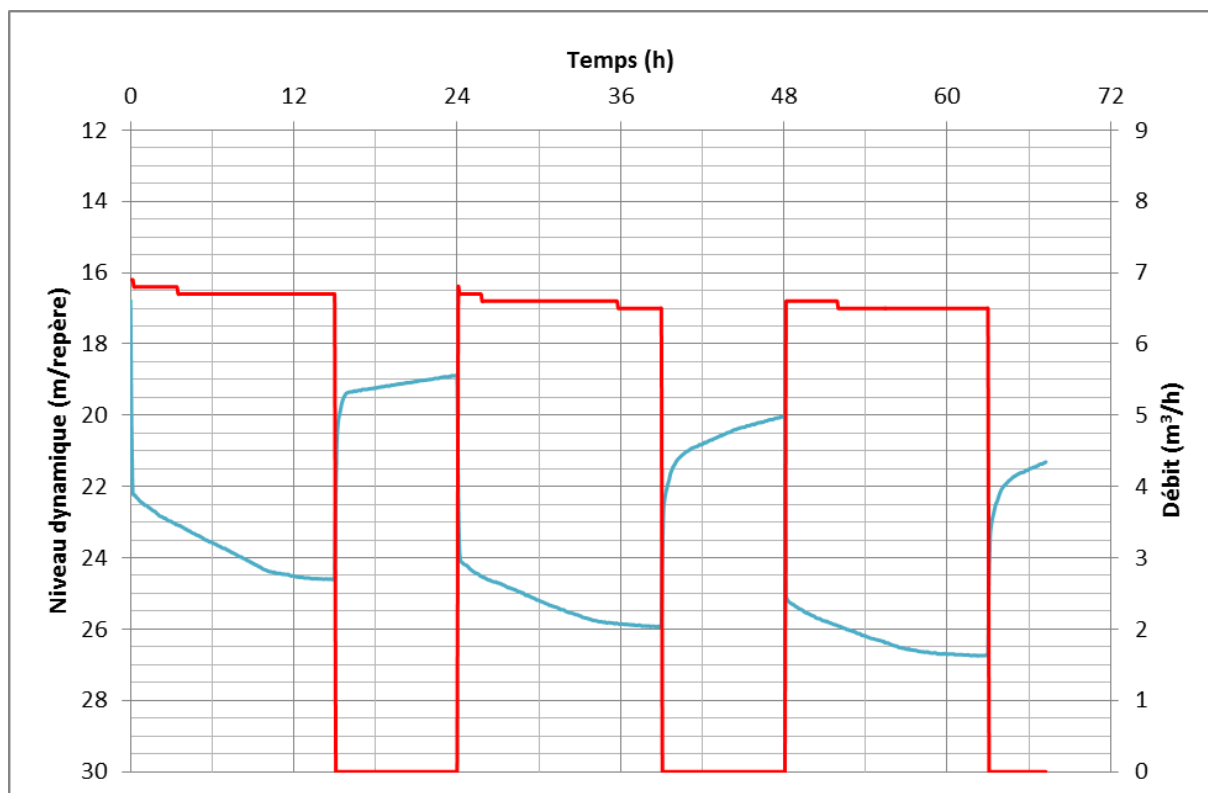


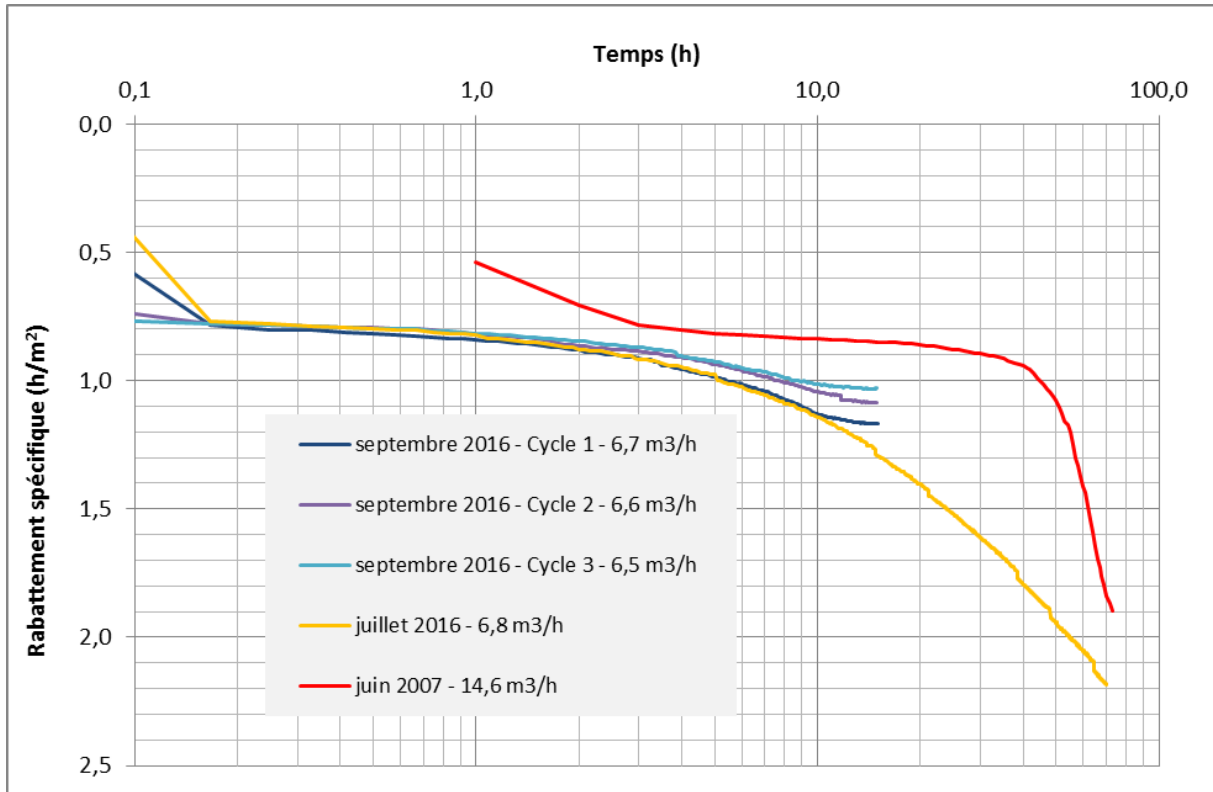
Figure 6. Essai de septembre 2016 sur le forage de Novacelles. Courbe bleue : évolution du niveau dynamique en fonction du temps représenté sur échelle arithmétique. Courbe rouge : évolution du débit d'exhaure (figurée sur l'axe vertical secondaire).

	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3
Temps de pompage	15 h	15 h	14h55
Débit (m ³ /h)	6,7	6,6	6,5
Rabattement (m)	7,83	7,07	6,7
Temps de remontée	9 h	9 h05	4h15
Rabattement résiduel (m)	2,09	1,17	1,27

Tableau 4. Caractéristiques de l'essai de septembre 2016 sur le forage de Novacelles.

Les courbes d'évolution des rabattements en fonction du temps de pompage des trois cycles ne se superposent pas mais ces différences semblent essentiellement imputables aux débits d'exhaures qui ne sont pas exactement les mêmes.

Afin de comparer les différents essais nous avons choisi de représenter l'évolution des rabattements spécifiques (rabattement divisé par le débit) en fonction du temps de pompage (cf. Figure 7). Les trois courbes, issues des trois cycles de pompage de septembre 2016 sont très proches. Jusqu'à 10 h de pompage, elles se superposent à celle de l'essai de juillet 2017. Par contre, alors que la



penne de la courbe augmente après 10 h de pompage en juillet, elle tend à diminuer lors des essais de septembre.

Figure 7. Courbes $s/Q=f(t)$ pour lors des différents essais réalisés sur le forage de Novacelles.

A titre de comparaison, la figure 7 reprend également l'évolution des rabattements spécifiques observée lors de l'essai de juin 2007. On peut remarquer les meilleures performances du forage en juin 2007 où les rabattements spécifiques étaient plus faibles.

Cette différence, qui reste faible, traduit une moins bonne alimentation du forage en 2016, soit du fait d'une moins bonne alimentation par l'aquifère (basses eaux) et/ou d'un début de colmatage de l'ouvrage.

Les essais du mois de septembre permettent également de déduire des valeurs de la transmissivité :

	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3
Transmissivités calculées sur les phases de descente (m²/s)	9,43.10 ⁻⁵ 2,52.10 ⁻⁴	1,39.10 ⁻⁴ 3,33.10 ⁻⁴	1,76.10 ⁻⁴ 5,28.10 ⁻⁴
Transmissivités calculées sur les phases de remontée (m²/s)	2,78.10 ⁻⁴	2,65.10 ⁻⁴	2,34.10 ⁻⁴

Tableau 5. Transmissivités déduites des essais de septembre 2016 sur le forage de Novacelles.

La transmissivité moyenne de l'aquifère pour 15 h de pompage s'élève à $2,55.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

A l'issue des phases de pompage les remontées du niveau dynamiques sont lentes et les rabattements résiduels restent importants après 9 heures de remontée. Cette observation confirme celle réalisée à l'issue de l'essai de nappe de 2007.

4. SIMULATION D'UN REGIME D'EXPLOITATION

De manière générale, le débit d'exploitation d'un forage doit impérativement être inférieur à son débit critique soit, pour le forage de Novacelles $13,7 \text{ m}^3/\text{h}$ dans les conditions de l'essai de juillet 2016.

Par ailleurs, le forage de Novacelles exploitant un aquifère fissuré captif, il convient de ne pas dénoyer les arrivées d'eau, soit un niveau dynamique d'une profondeur maximum de 46 m/sol.

Cette contrainte a été prise en compte lors du rééquipement du forage : la profondeur d'aspiration de la nouvelle pompe se trouve à 45,85 m. Afin de protéger la pompe une sonde de niveau bas devra être posée à 44 m.

Cet équipement permet par ailleurs de ne pas dénoyer les crépines dont le sommet est situé à 45 m et limitera ainsi leur risque de colmatage (afin de limiter le risque de colmatage des crépines par les bactéries du fer et du manganèse, on conseille toujours d'éviter de dénoyer les crépines afin de réduire le risque d'oxygénation).

La simulation de la *figure 8* a été réalisée en considérant un niveau statique initial de 10 m/sol (les essais de 2016 n'ont pas été réalisés avec une nappe au repos total) et un régime d'exploitation correspondant aux conditions de l'essai de septembre 2016, soit 15 h par jour au débit moyen de $6,6 \text{ m}^3/\text{h}$ et 9 heures de remontée.

Dans ces conditions, le niveau bas de 44 m est atteint à l'issue de 24 jours de pompage.

Les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifères font que sa recharge est très lente après une phase de pompage. Nous ne disposons pas de tous les éléments pour simuler cette remontée. Il nous manque le coefficient d'emménagement. Pour déterminer ce paramètre avec fiabilité, il est nécessaire de disposer d'observations sur un ou des piézomètres proches de l'ouvrage pompé.

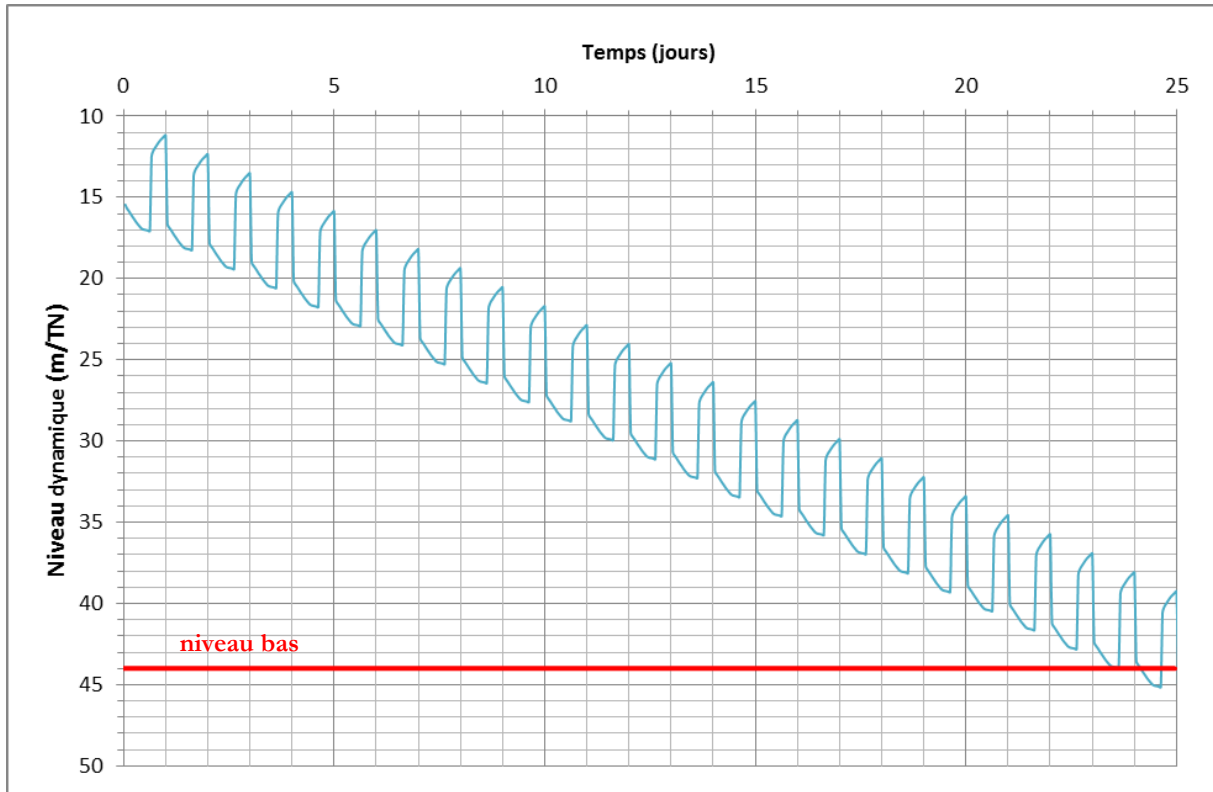


Figure 8. Simulation d'exploitation du forage de Novacelles 15h/j à 6,6 m³/h.

La simulation suivante est fournie à titre purement illustratif. Le coefficient d'emmagasinement a été estimé en assimilant le rayon du forage à la distance de l'ouvrage pompé au piézomètre observé. Après 15 h de pompage au débit de 6,6 m³/h les rabattements résiduels sont les suivants (cf. figure 9 et tableau 5).

Temps de remontée (h)	Rabattement résiduel (m)
24	0,29
48	0,16
72	0,11
96	0,09
120	0,07
144	0,06

Tableau 5. Forage de Novacelles. Simulation d'une remontée après 15 h de pompage au débit de 6,6 m³/h.

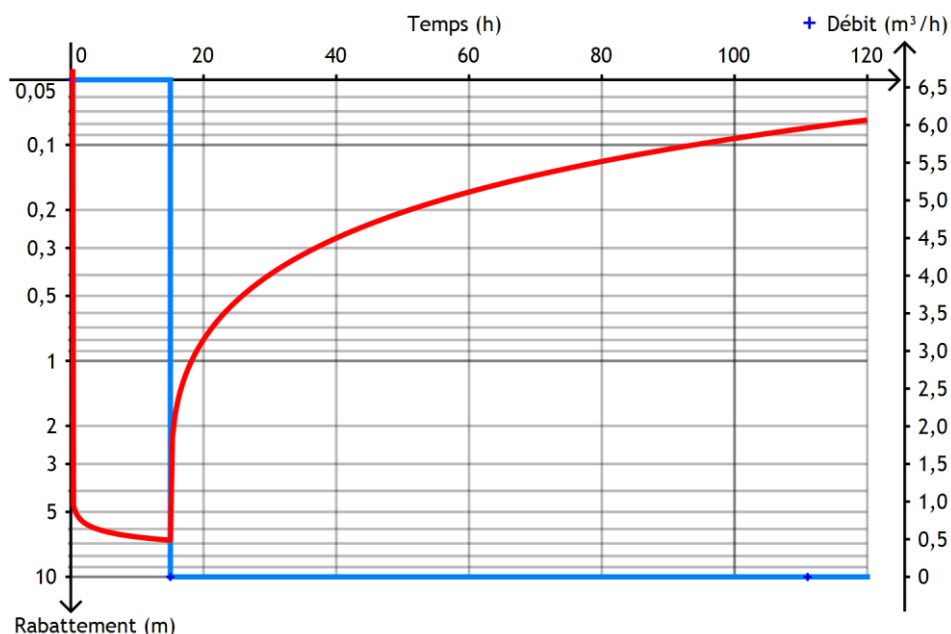


Figure 9. Forage de Novacelles. Simulation d'une remontée après 15 h de pompage au débit de 6,6 m³/h.

5. AVIS

Les essais conduits en 2016 ont confirmé que le régime d'exploitation préconisé par le bureau d'études à l'issue des études réalisées 2007 était incompatible avec les potentialités du forage et de la ressource. Pour mémoire, le bureau d'étude préconisait d'installer une pompe de 6" à la profondeur de 70 m et recommandait un débit d'exploitation de 15 m³/h pendant 16 h par jour soit 240 m³/jour sur une durée de deux mois.

Ils ont par ailleurs confirmé les capacités limitées de l'ouvrage.

Le débit critique du forage est de 13,7 m³/h.

Afin d'éviter de dénoyer les premières venues d'eau (46 m) et le haut des crépines (45 m), suivant nos conseils et ceux du bureau d'études Egis Eau, la pompe a été installée à 45,85 m/bride (profondeur d'aspiration).

Dans la pratique ceci implique que "le niveau bas" se situe à 44 m/bride.

Les essais réalisés ont montré que la pompe installée permettait de délivrer 6,6 m³/h.

Les essais ont été réalisés sur la base d'une exploitation d'environ 6,6 m³/h pendant 15 h par jour soit 100 m³/j. Cette durée de quinze heures a été déterminée suite à l'essai de juillet 2016 où il a été observé que les rabattements augmentaient fortement au-delà.

Sur ces bases-là, et dans les conditions des essais de 2016 (basses eaux), le niveau bas devrait être atteint à l'issue d'environ trois semaines d'exploitation.

Une fois le niveau atteint, sous peine d'un fonctionnement discontinu toujours dommageable pour la pompe, il sera nécessaire de laisser le forage à l'arrêt sur une durée supérieure à 9 h . Les données dont nous disposons ne permettent pas de déterminer le temps d'arrêt nécessaire pour retrouver un niveau statique initial. Celui-ci est de plusieurs jours.

En conclusion, l'exploitation du forage de Novacelles peut être envisagée en complément des captages de sources sur la période basses eaux. Le débit d'exhaure ne devra pas excéder 6,6 m³/h et le temps de pompage journalier 15h. Le régime d'exploitation est difficile à déterminer avec précision, mais dans un premier temps le SIAEP pourrait expérimenter d'enchaîner des cycles comprenant deux semaines d'exploitation 15h/jour suivies d'une journée d'arrêt. Le non-respect de ces remontées va induire un fonctionnement en marche arrêt de la pompe qui va induire un vieillissement prématuré de celle-ci. Par ailleurs, à chaque démarrage, les vitesses d'eau dans la crépine augmentent, favorisant le colmatage de l'ouvrage (développement bactérien et entrainement de particules).

Fait à *Vernines*, le 16/02/2018



Marc CHALIER
Hydrogéologue agréé
pour le département du *Puy-de-Dôme*