

Informations document :

VERSION	DATE	REDACTEUR	APPROBATEUR
01	16/01/2015	A. BEHAGUE	Y. HEUMEL
02	21/01/2015	A. BEHAGUE	Y. HEUMEL
03	26/01/2015	A. BEHAGUE	Y. HEUMEL

Destinataires :

NOM	ORGANISME	ENVOYE LE
Pascal BONIFACE	SARL BONIFACE	16 Janvier 2015
Pascal BONIFACE	SARL BONIFACE	21 Janvier 2015
Pascal BONIFACE	SARL BONIFACE	26 Janvier 2015

SOMMAIRE

1	PRESENTATION DU PROJET	10
1.1	Contexte général du projet	10
1.2	Le demandeur et les intervenants	11
1.2.1	<i>Maître d'Ouvrage du projet</i>	11
1.2.2	<i>Maître d'œuvre</i>	11
1.2.3	<i>Bureau d'études</i>	11
1.2.4	<i>Entreprise</i>	12
2	LE FORAGE	13
2.1	Situation du forage	13
2.1.1	<i>Calendrier des opérations</i>	13
2.1.2	<i>Implantation</i>	13
2.2	Description des travaux réalisés	15
2.2.1	<i>Foration et équipement</i>	15
2.2.2	<i>Coupe géologique</i>	15
2.2.3	<i>Développement et acidification</i>	16
2.2.4	<i>Rejet des eaux</i>	17
3	ESSAIS DE POMPAGE	18
3.1	Essai de pompage par paliers	18
3.2	Essai de pompage longue durée	21
3.2.1	<i>Déroulement des essais</i>	21
3.2.2	<i>Evolution des niveaux d'eau</i>	21
3.2.3	<i>Interprétation</i>	22
4	DIAGRAPHIE DE FORAGE	26

5	QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU	26
6	CONCLUSIONS	28

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Fiches de calage extraites du logiciel OUAIP

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du forage de Bouy sur carte topographique	13
Figure 2 : Localisation du forage de Bouy sur photographie aérienne.....	14
Figure 3 : Comparaison des résultats obtenus à l'issue des pompages par paliers effectués avant et après chaque acidification	17
Figure 4 : Interprétation de l'essai de puits via le logiciel OUAIP (BRGM)	19
Figure 5 : Evolution des niveaux d'eau au cours de l'essai par pompage	22
Figure 6 : Ajustement automatique de T sur l'ensemble de l'essai (forage de Bouy).....	24
Figure 7 : Ajustement automatique de T et S sur l'ensemble de l'essai (forage de l'armée)	25
Figure 8 : Diagramme de Piper.....	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Coupe géologique rencontrée au droit du nouveau forage, source : SARL BONIFACE	15
Tableau 2 : Effet des acidifications sur la productivité du forage, source : SARL BONIFACE.....	16
Tableau 3 : Résultats du pompage par paliers – Débit, rabattement, débit spécifique.....	18
Tableau 4 : Résultats du pompage par paliers sur le forage.....	20
Tableau 5 : Transmissivité calculée au droit des ouvrages suivis	22
Tableau 6 : Valeurs moyennes des paramètres hydrodynamiques, source : Carte géologique n°159 de Suippe, 2000	25

1 PRESENTATION DU PROJET

1.1 CONTEXTE GENERAL DU PROJET

Afin de palier à une double problématique (quantitative et qualitative) affectant deux de ses captages, la Communauté de Communes de la Région de MOURMELON (CCRM) a décidé de créer un nouveau forage pour alimenter les communes de BOUY et LIVRY-LOUVERCY

Le bureau d'études ANTEA GROUP a été missionné par la CCRM pour réaliser une mission de maîtrise d'œuvre pour créer ce nouveau forage.

Ce forage devait permettre de répondre à plusieurs attentes formulées par la CCRM, à savoir :

- Localisation sur la parcelle ZT 51 de la commune de Bouy (implantation suggérée par l'hydrogéologue agréé) ;
- Ouvrage permettant une production journalière de 800 m³/j en pointe pour un débit instantané de l'ordre de 50 à 60 m³/h et pouvant accueillir deux pompes d'exhaure ;

Un marché de travaux a été lancé par la CCRM et attribué à l'entreprise SARL BONIFACE. Le bureau d'études AMODIAG Environnement intervient en tant que sous-traitant de l'entreprise de forage pour établir le compte rendu des travaux et procéder à l'interprétation des pompages d'essai, objet du présent rapport.

2 LE FORAGE

2.1 SITUATION DU FORAGE

2.1.1 Calendrier des opérations

Les travaux de foration, les pompages d'essai et les diagraphies ont été réalisés du 1^{er} au 19 décembre 2014.

2.1.2 Implantation

Le forage a été créé sur la parcelle ZT n°51 de la commune de BOUY, propriété de la Commune de BOUY. Il est localisé en rive droite de la Vesle à l'Est du village de BOUY.

L'accès au site s'effectue par la route départementale n°21, puis par le chemin des vignes qui traverse la voie ferrée et le chemin rural du pré des bœufs.

Les coordonnées du forage sont les suivantes :

- X : 799 990 m (L93)
- Y : 6 888 230 m (L93)
- Z : 112 m

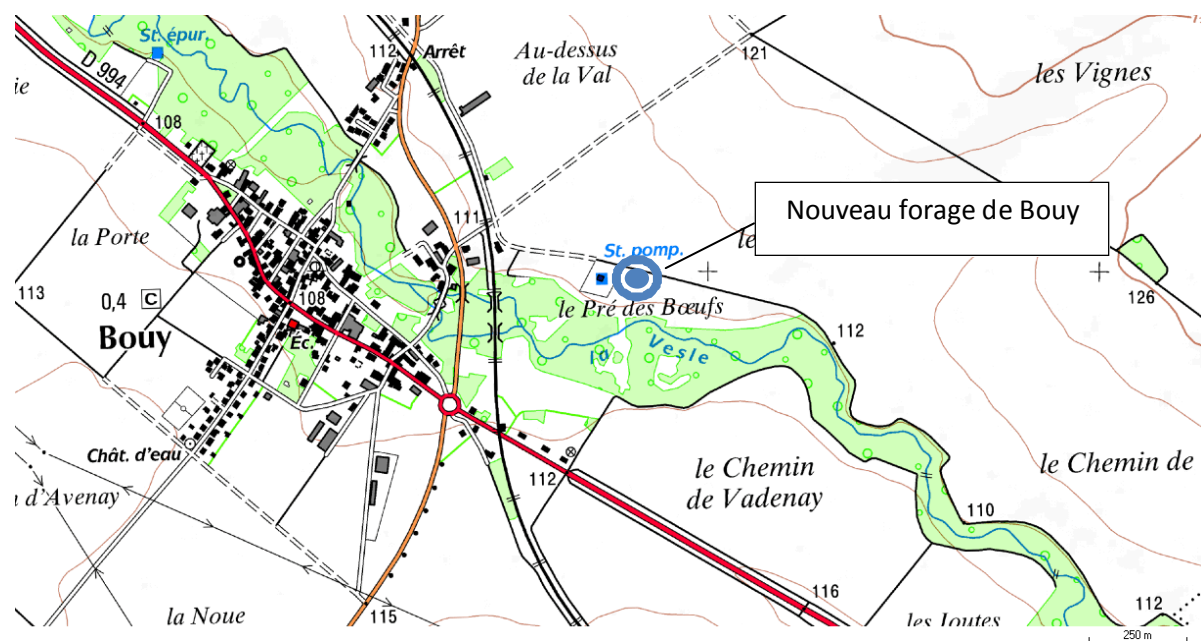


Figure 1 : Localisation du forage de Bouy sur carte topographique



Figure 2 : Localisation du forage de Bouy sur photographie aérienne

2.2 DESCRIPTION DES TRAVAUX REALISES

2.2.1 Foration et équipement

Le forage a été créé à la tarière de 0 à 4,80 m au diamètre 1100 mm. Un tubage de soutènement en acier E24.2 de diamètre 784/800 mm a été mis en place cimenté à l'extrados sous pression.

La foration a été poursuivie en rotation dans la craie au diamètre 650 mm jusqu'à 40,60 m.

L'ouvrage a ensuite été équipé de tubages pleins et crépinés en INOX 304 L de diamètre 496/508 mm. La position des tubages pleins et crépinés est la suivante :

- De 0 à 5,36 m : tubages pleins INOX
- De 5,36 à 39,46 m : tubages crépinés INOX à nervures repoussées d'ouvertures 2,5 mm ;
- De 39,46 à 40,48 m : tubages pleins INOX

Un massif de gravier siliceux (9/18 mm) a été mis en place à l'extrados du tubage crépiné.

L'ouvrage est équipé d'un bouchon de fond et de centreurs (le centreur entre le tubage Ø 800 mm et le tubage INOX Ø 508 mm est un centreur diélectrique à 6 lames).

Les principales caractéristiques techniques du forage ainsi que sa coupe technique et géologique sont rassemblées en annexe 1.

2.2.2 Coupe géologique

La géologie rencontrée au droit de l'ouvrage est présentée dans le tableau suivant.

De	à	Lithologie
0,00	0,20	Terre végétale
0,20	0,50	Graveluches
0,50	11,46	Craie blanche
11,46	29,50	Craie blanche fracturée
29,50	40,60	Craie blanche

Tableau 1 : Coupe géologique rencontrée au droit du nouveau forage, source : SARL BONIFACE

2.2.3 Développement et acidification

A l'issue de sa création, le forage a fait l'objet :

- d'un premier nettoyage suivi d'un test de pompage de 4 x 30 min de débit croissant ;
- d'une première acidification de deux tonnes d'acide chlorhydrique passivé sur toute la hauteur du forage ;
- d'un nettoyage suivi d'un second test de pompage de 4 x 30 min de débit croissant ;
- d'une seconde acidification de deux tonnes d'acide chlorhydrique passivé sur toute la hauteur du forage ;
- d'un nettoyage suivi d'un troisième test de pompage de 4 x 30 min de débit croissant ;
- d'une désinfection au Divosan.

Le tableau suivant présente le gain de productivité obtenu à l'issue de chaque acidification.

Pompages avant acidification	
Débit de pompage (m ³ /h)	104
Temps de pompage (h)	0,5
Rabatement (m)	1,37
Débit spécifique (m ³ /h/m)	75,9
Pompages après acidification (2 T)	
Débit de pompage (m ³ /h)	104
Temps de pompage (h)	0,5
Rabatement (m)	1,05
Débit spécifique (m ³ /h/m)	99,0
Gain de productivité	30 %
Pompages après acidification (2 T)	
Débit de pompage (m ³ /h)	120
Temps de pompage (h)	0,5
Rabatement (m)	1,21
Débit spécifique (m ³ /h/m)	99,2
Gain de productivité	0 %

Tableau 2 : Effet des acidifications sur la productivité du forage, source : SARL BONIFACE

Le débit spécifique est élevé et atteint près de 100 m³/h/m. Il témoigne d'une bonne fissuration de la craie dans la vallée de la Vesle.

La première acidification effectuée sur le forage a permis d'augmenter sa productivité d'environ 30%. Comme le montre le graphique ci-dessous, la seconde acidification a eu peu d'effet sur la productivité du forage.

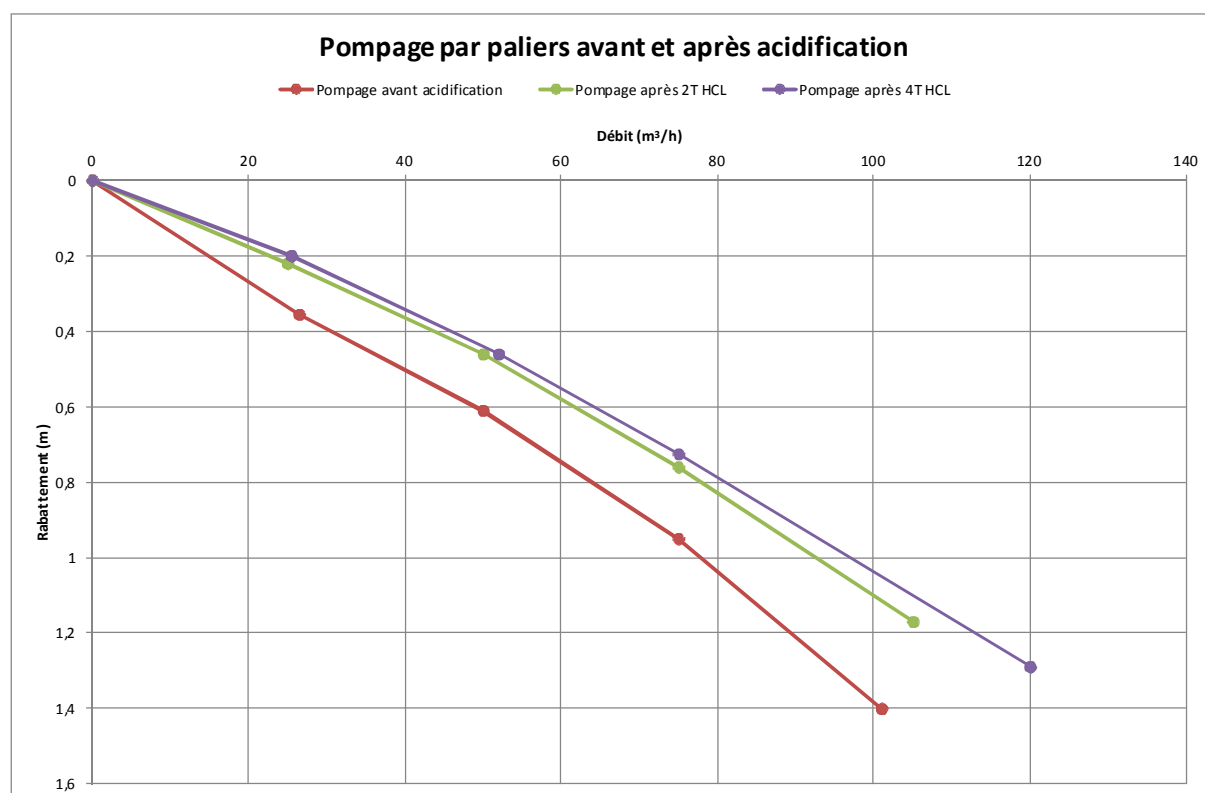


Figure 3 : Comparaison des résultats obtenus à l'issue des pompages par paliers effectués avant et après chaque acidification

2.2.4 Rejet des eaux

Les eaux prélevées lors des pompages de développement, de nettoyage et d'essai ont été rejetées dans la Vesle à environ 150 m au Sud.

3 ESSAIS DE POMPAGE

3.1 ESSAI DE POMPAGE PAR PALIERS

A l'issue des opérations d'acidification, le forage a fait l'objet d'un pompage par paliers le 12 décembre 2014 : 4 paliers enchaînés de débit croissant d'une durée d'une heure chacun.

Les résultats de cet essai de puits sont les suivants :

Débit (m ³ /h)	30	60	90	117
Rabatement (m)	0,271	0,589	0,981	1,367
Débit spécifique (m ³ /h/m)	110,7	101,9	91,7	85,6

Tableau 3 : Résultats du pompage par paliers – Débit, rabattement, débit spécifique

Le débit spécifique correspond au débit pompé exprimé par mètre de rabattement. Le débit spécifique du forage varie de 110,7 m³/h/m à 85,6 m³/h/m pour des débits variant de 30 à 117 m³/h.

Les données des rabattements non stabilisés et de débits mesurés ont permis l'établissement de la courbe caractéristique, le calcul de son équation et des valeurs des différentes pertes de charges.

L'essai de pompage par paliers a été interprété via le logiciel OUAIP développé par le BRGM. Ce logiciel permet de tracer la courbe caractéristique du puits, les pertes de charge dans l'ouvrage et propose une détermination automatique du débit critique

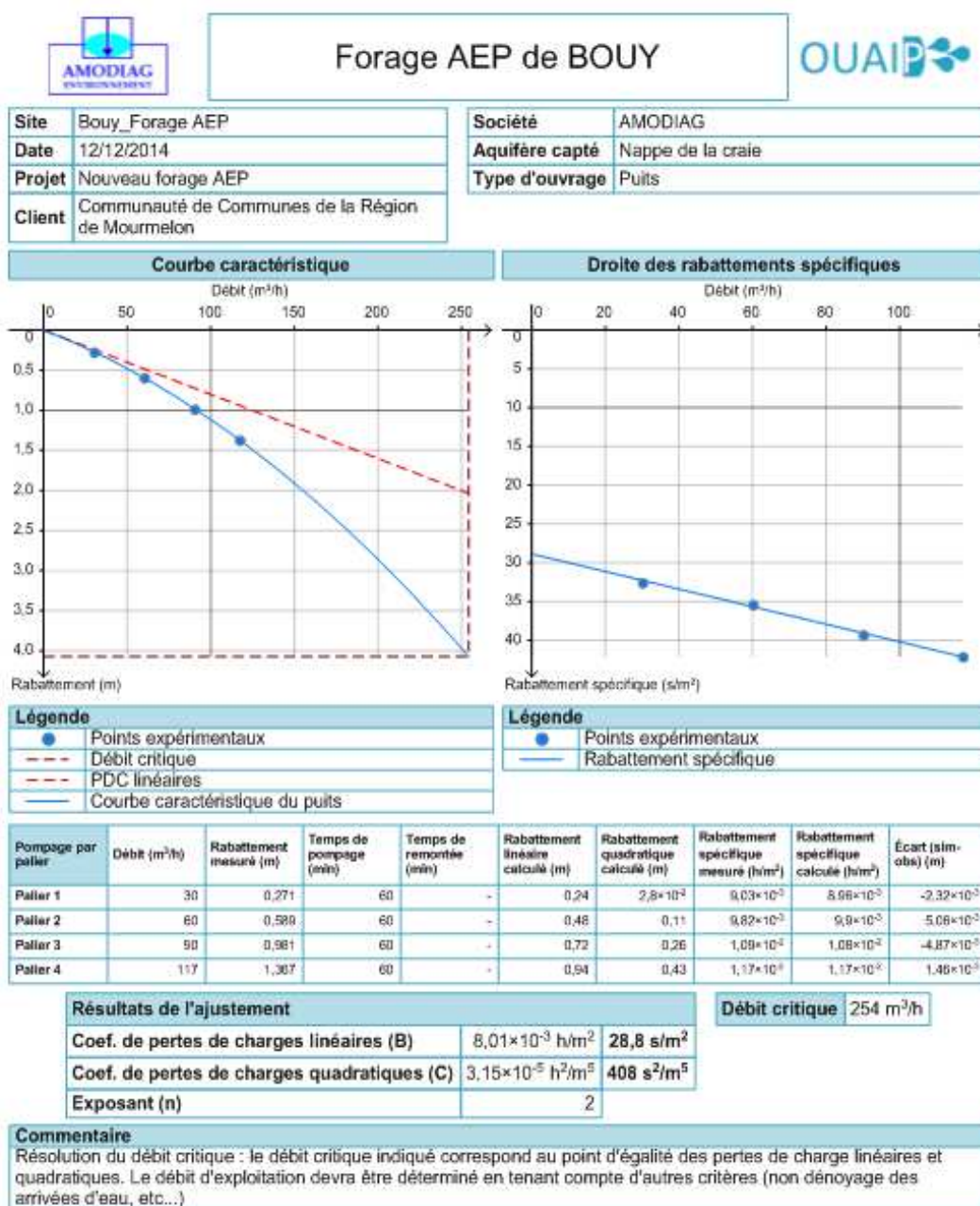


Figure 4 : Interprétation de l'essai de puits via le logiciel OUAIP (BRGM)

L'équation générale du rabattement dans un forage est définie par la relation :

$$s = BQ + CQ^2$$

avec :

s : rabattement total observé au puits ;

Q : débit de pompage en m³/h ;

BQ : est proportionnel au débit et fonction des caractéristiques de l'aquifère (transmissivité) et des pertes de charges linéaires (colmatage, pénétration partielle, ...) ;

CQ^2 : est proportionnel au carré du débit et représente les pertes de charges quadratiques dues à un écoulement turbulent avec mise en vitesse anormale dans les crépines ou les fissures.

L'équation de la courbe caractéristique du forage est la suivante :

$$s = 8,01 \times 10^{-3} Q + 3,15 \times 10^{-5} Q^2$$

L'équation obtenue à partir des résultats de l'essai de pompage permet d'établir la répartition théorique des pertes de charge en fonction des débits. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Débit (m ³ /h)	Pertes de charge linéaires (m)	Pertes de charge linéaires (%)	Pertes de charge quadratiques (m)	Pertes de charge quadratiques (%)
30	0,24	89	0,028	11
60	0,48	81	0,11	19
90	0,72	73	0,26	27
117	0,94	69	0,43	31

Tableau 4 : Résultats du pompage par paliers sur le forage

La répartition des pertes de charge linéaires et quadratiques met en évidence **une prépondérance des pertes de charge linéaires par rapport aux pertes de charge quadratiques** pour chaque palier. Les pertes de charge quadratiques sont faibles.

Le débit critique¹ n'est donc pas atteint et peut être estimé autour de 254 m³/h.

¹ Le débit critique indiqué correspond au point d'égalité des pertes de charges linéaires et quadratiques.

3.2 ESSAI DE POMPAGE LONGUE DUREE

3.2.1 Déroulement des essais

Un pompage de longue durée (72 heures) a été réalisé sur le nouveau forage du 15/12/2014 au 18/12/2014 à un débit de 62 m³/h. Le débit a été maintenu constant (à $\pm 2\%$) pendant toute la durée de l'essai.

Les eaux ont été rejetées dans la Vesle en aval d'une station limnimétrique installée dans le cadre de ces essais. Cette station est constituée d'un capteur de pression associé à une échelle limnimétrique. Le capteur a été programmé pour enregistrer les données de niveau au pas de temps 1 minute.

Les niveaux piézométriques ont été mesurés en continu au pas de temps 1 minute au droit du nouveau forage et du forage de l'armée situé à une centaine de mètres à l'Ouest.

Les capteurs (de type SCAIME) ont une précision inférieure à 0,1% de la pleine échelle.

3.2.2 Evolution des niveaux d'eau

Le pompage longue durée effectué au droit du nouveau forage de Bouy au débit de 62 m³/h se caractérise (au bout de 72h de pompage) par :

- Un rabattement de 0,87 m au droit du forage sollicité. A noter, une baisse progressive de quelques centimètres du niveau d'eau le 17/12/14 pendant environ 5 heures. Cette fluctuation piézométrique, non imputable à une variation de débit (débit constant), pourrait s'expliquer par la mise en route d'un autre forage puisque le niveau piézométrique remonte ensuite de quelques centimètres ;
- Un rabattement de 0,16 m au droit du forage de l'armée situé à une centaine de mètres du nouveau forage ;
- Une absence d'impact du pompage sur les niveaux d'eau de la Vesle. Il faut toutefois garder à l'esprit que certains tronçons du cours d'eau peuvent être plus aptes que d'autres à réalimenter la nappe.

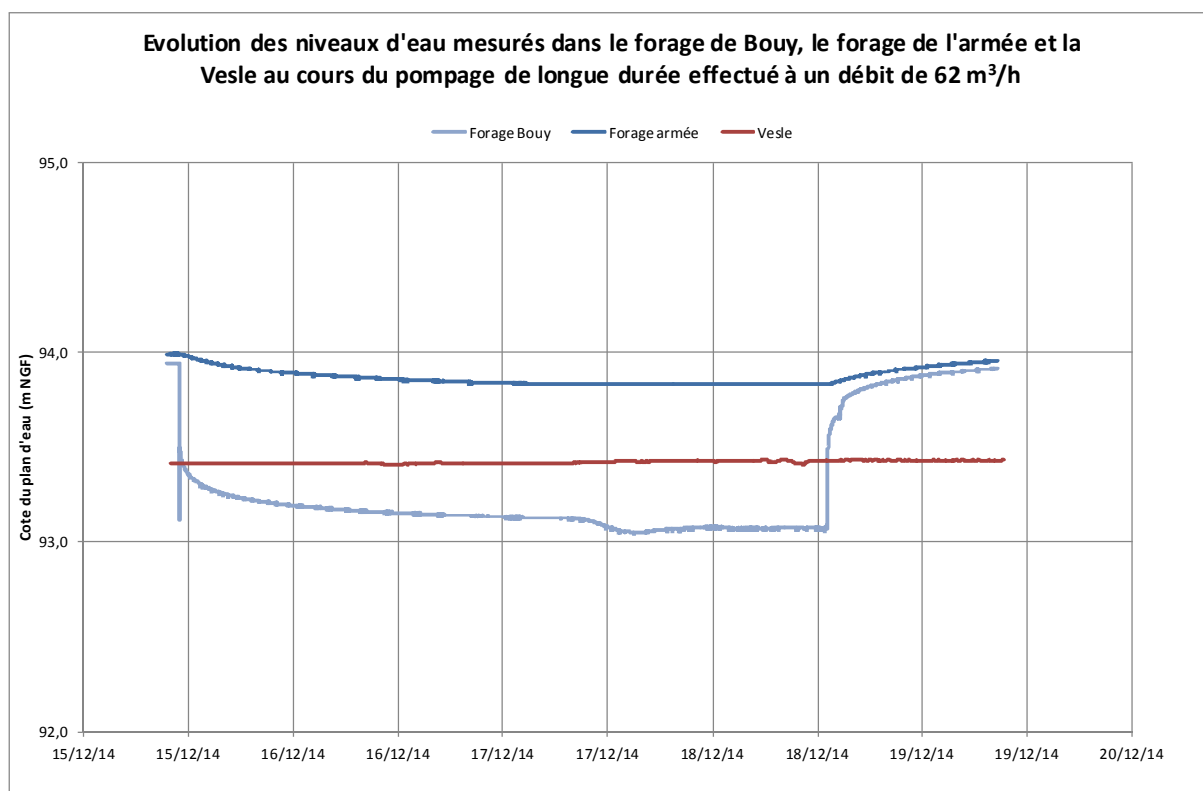


Figure 5 : Evolution des niveaux d'eau au cours de l'essai par pompage

3.2.3 Interprétation

3.2.3.1 CALCUL DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

L'essai de nappe a pour objectif de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité, coefficient d'emmagasinement) qui constituent la base des calculs pour la mise en place des périmètres de protection. L'essai a été interprété avec la solution de THEIS. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Descente+Remontée	
Forage de Bouy	$2,09.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
Forage armée	$2,00.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
Moyenne	$2,04.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

Tableau 5 : Transmissivité calculée au droit des ouvrages suivis

Remarque : La valeur de la transmissivité calculée sur le forage représente une valeur moyenne de ce paramètre pour l'aquifère dans toutes les directions. La valeur calculée sur un ouvrage de suivi à distance représente la transmissivité dans la direction de l'ouvrage de suivi à partir de l'ouvrage sur lequel le pompage a lieu. Il en est de même pour le coefficient d'emménagement.

Bien qu'un peu plus faibles, les valeurs de transmissivité présentées dans le tableau ci-dessus sont cohérentes avec celles calculées lors des essais de pompage effectués sur le forage de l'armée ($T = 3,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ pour la descente et $T = 4,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ pour la remontée). La valeur obtenue à l'aplomb du forage de reconnaissance réalisé (200 mètres à l'ouest) en octobre 1981 était de $3,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Le calage automatique (ajustement de T par le logiciel pour reproduire au mieux les rabattements mesurés) est satisfaisant sur l'ensemble de l'essai effectué sur le forage de Bouy (cf. figure ci-dessous). Il ne reproduit, en revanche, pas la variation de niveau, mesuré sur le forage à $t+2700 \text{ min}$. Cette variation de niveau pourrait masquer un effet de limite puisque le meilleur calage (calage sur la descente et la remontée) a été obtenu avec la prise en compte d'une limite d'alimentation située à moins de 100 mètres du forage et qui correspondrait à la Vesle.

Le vannage de la pompe lors de la première minute de l'essai rend le calage délicat sur les premiers temps de l'essai. La première mesure ($t+1 \text{ min}$) n'a d'ailleurs pas été prise en compte puisque le rabattement était de l'ordre de 0,83 m.

Les fiches de calage extraites du logiciel sont rassemblées en annexe 2.

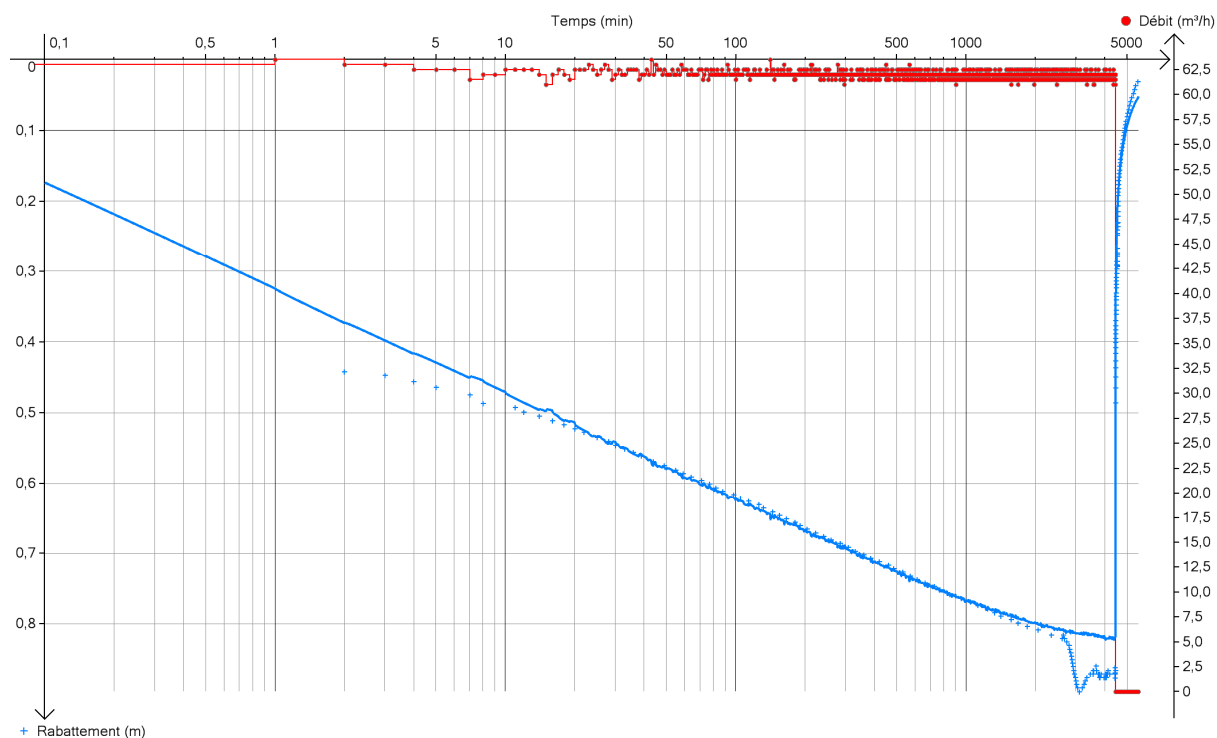


Figure 6 : Ajustement automatique de T sur l'ensemble de l'essai (forage de Bouy)

Concernant le forage de l'armée, le calage automatique (ajustement de T et S par le logiciel pour reproduire au mieux les rabattements mesurés) est satisfaisant sur l'ensemble de l'essai (cf. figure ci-dessous). Une stabilisation des niveaux est visible à partir du temps $t = 46 \text{ h}$ (2800 min). **Elle semble traduire une réalimentation de la nappe par la Vesle, située à environ 200 mètres au Sud du forage.**

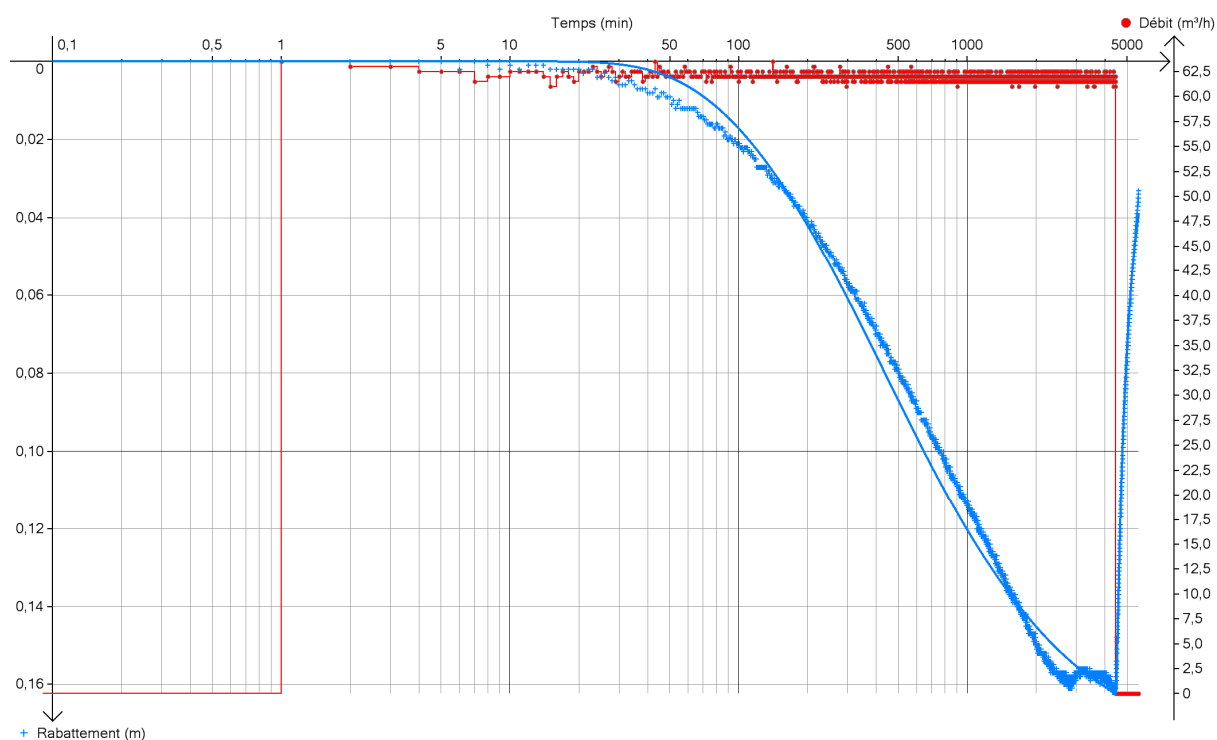


Figure 7 : Ajustement automatique de T et S sur l'ensemble de l'essai (forage de l'armée)

La détermination du coefficient d'emménagement nécessite la présence d'un ouvrage satellite sur lequel l'essai est suivi. Il a donc pu être déterminé au droit du forage de l'armée. **Il est estimé à environ 4 % et est représentatif d'une nappe libre.** Il correspond aux ordres de grandeur donnés dans la notice de la carte géologique de Suippe. Ces valeurs sont reprises ci-dessous :

Situations/Paramètres	Débit spécifique	Transmissivité	Coefficient d'emménagement
Plateau Niveau statique > 20m	0,5 à 5 m ³ /h/m	10 ⁻⁶ à 10 ⁻⁵ m ² /s	1 à 2%
Vallée sèche 20 m > niveau statique > 5 m	5 à 20 m ³ /h/m	10 ⁻⁵ à 10 ⁻³ m ² /s	2 à 3%
Vallée avec cours d'eau Niveau statique < 5 m	10 à 100 m ³ /h/m	0,3 à 10 ⁻² m ² /s	3 à 5%

Tableau 6 : Valeurs moyennes des paramètres hydrodynamiques, source : Carte géologique n°159 de Suippe, 2000

4 DIAGRAPHIE DE FORAGE

Une inspection télévisée a été réalisée le 19 décembre 2014 par la société Géo Hydro Investigation (GHI) de Sainte Luce sur Loire (44).

Cette diagraphie a montré :

- Un aspect général des tubages (pleins et crépinés) propre sans aucune dégradation ;
- Les soudures des raccords sont propres ;
- Les crépines à nervures repoussées sont propres et ouvertes ;
- La présence d'un massif filtrant à l'extrados des crépines ;
- La présence, à partir de – 30 m, de dépôts clairs et fins apparaissant sur les crépines. Les crépines semblent colmatées à partir de – 35 m (horizon plus marneux rencontré dans les craies sénoniennes ?).
- La présence d'une faible épaisseur de dépôts à la base de l'ouvrage (- 40,40 m)

5 QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU

Les résultats d'analyse mettent en évidence une eau présentant un faciès bicarbonaté calcique, légèrement magnésien. Le diagramme de Piper ci-après reprend les résultats de l'analyse de type RP réalisée en fin de pompage de longue durée le 18 décembre 2014.

L'eau est de bonne qualité physico-chimique et bactériologique. Elle présente des teneurs en nitrates peu importantes (23,2 mg/l). Les teneurs en perchlorates sont faibles (2,1 µg/l).

Les pesticides ne sont pas détectés.

Diagramme de Piper

▲ Forage Bouy

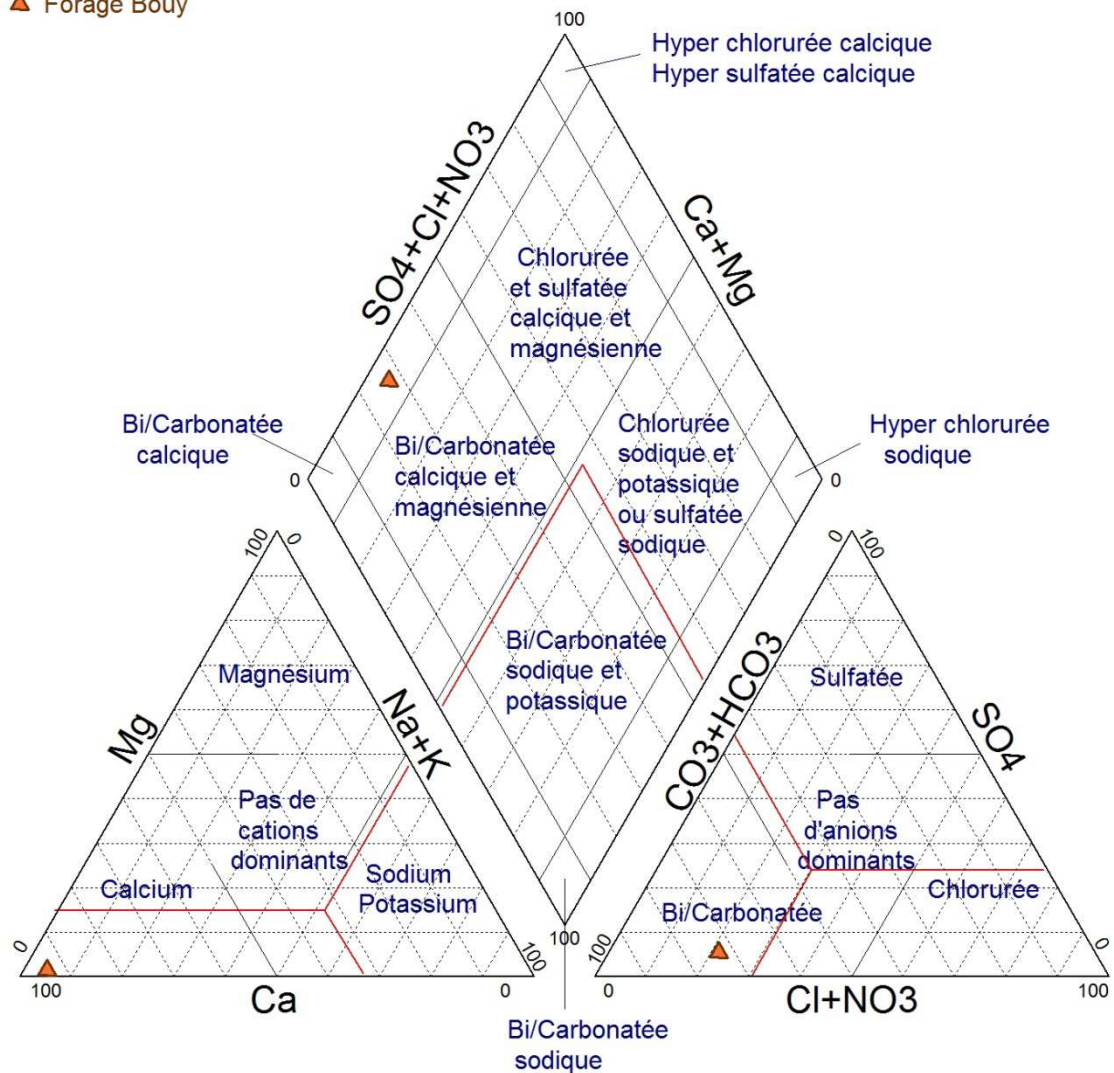


Figure 8 : Diagramme de Piper

6 CONCLUSIONS

Le nouveau forage de Bouy, créé en décembre 2014, doit permettre d'alimenter les communes de BOUY et LIVRY-LOUVERCY.

Ce forage, implanté dans la vallée de la Vesle, sollicite la nappe de la craie qui présente les caractéristiques suivantes :

- Une **transmissivité estimée à $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$** traduisant une **bonne productivité de l'aquifère** rendue possible par une fissuration de la craie développée dans l'axe de la vallée ;
- Un **coefficient d'emmagasinement estimé à environ 4 %** représentatif d'une nappe libre.

Les résultats de l'essai de puits ont montré que le **débit critique du forage (estimé à environ $250 \text{ m}^3/\text{h}$) est nettement supérieur au débit d'exploitation projeté ($50\text{-}60 \text{ m}^3/\text{h}$)**.

Le pompage de longue durée effectué à un débit de $62 \text{ m}^3/\text{h}$ pendant 72 heures semble montrer, dans les conditions de l'essai, que la **Vesle réalimente la nappe de la craie** puisque le niveau piézométrique mesuré dans le forage de l'armée se stabilise au cours du pompage. Cette réalimentation semble « masquer » par les variations de niveau que le forage a subi à partir de $t+2700 \text{ min}$.

A $62 \text{ m}^3/\text{h}$ et dans les conditions hydrogéologiques prévalant au moment des essais de l'essai, le rabattement mesuré au droit du nouveau forage atteint 0,87 m au bout de 72 heures.

Compte tenu des résultats qualitatifs et quantitatifs, **une exploitation de l'ouvrage à un débit voisin de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ apparaît envisageable dans des conditions hydrogéologiques similaires sans engendrer d'impact notable sur le forage de l'Armée en terme de rabattement** (rabattement de l'ordre de 0,16 m à l'issue du pompage de longue durée). Une diagraphie de micro-moulinet permettrait de caractériser la **sensibilité de l'ouvrage à la sécheresse** et de déterminer plus précisément le débit d'exploitation afin d'éviter tout **risque de dénoyage d'arrivées d'eau**.

Prouvy, le 26 janvier 2015

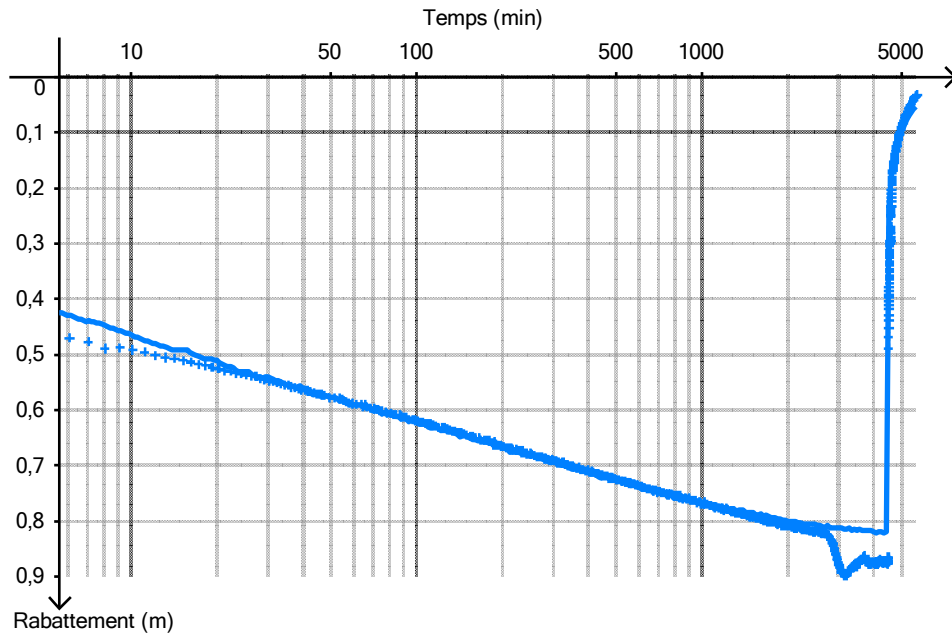
Aurélien BEHAGUE

Ingénieur responsable de projets

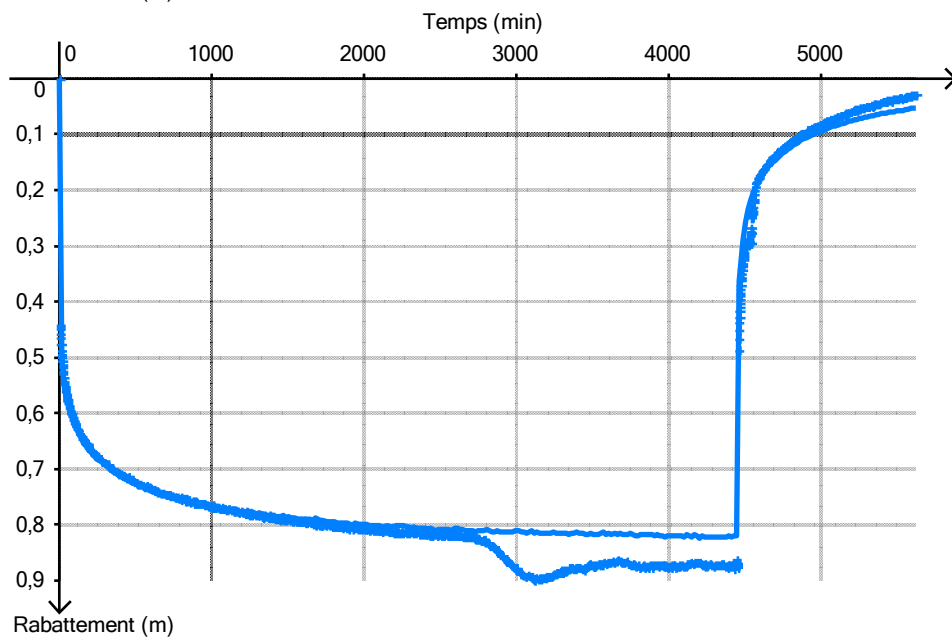
Référent du Métier Gestion de la Ressource en Eau

Site	Bouy_Forage AEP
Date	15/12/2014
Projet	Nouveau forage AEP
Client	Communauté de Communes de la Région de Mourmelon

Société	AMODIAG
Aquifère capté	Nappe de la craie
Type d'ouvrage	Puits
Rayon d'observation	0,25 m

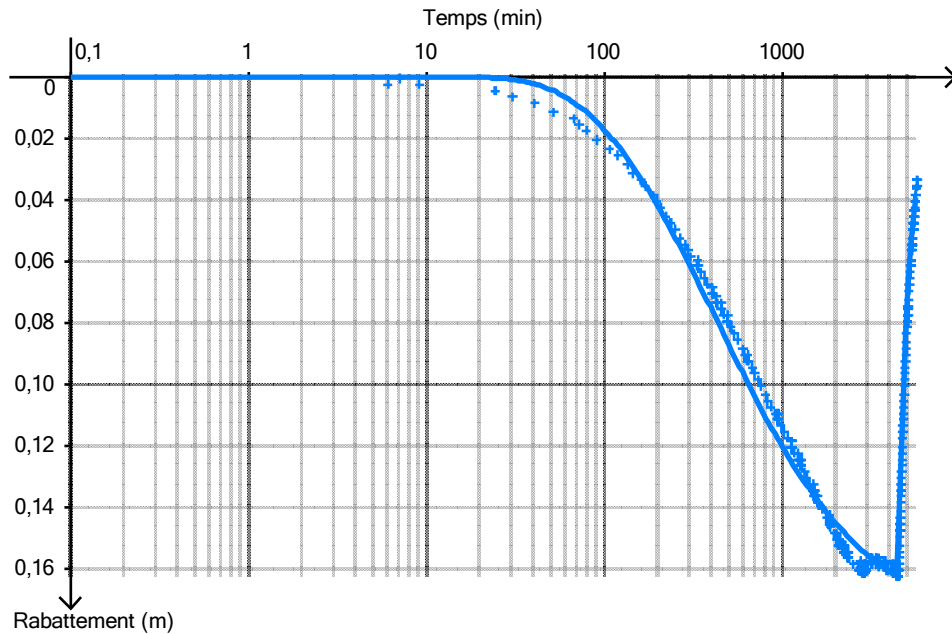


Légende	
+	Rabattement mesuré
—	Courbe théorique
Interprétation à l'aide de la solution	
Type aquifère	Captif
Coefficient d'ajustement de Nash-Sutcliffe	0,987 (-∞..1)
Transmissivité	$2,09 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
→ Effet de limites	
Limite 1	Alimentée
Distance à la première limite	80 m



Site	Bouy_Forage AEP
Date	15/12/2014
Projet	Nouveau forage AEP
Client	Communauté de Communes de la Région de Mourmelon

Société	AMODIAG
Aquifère capté	Nappe de la craie
Type d'ouvrage	Piézomètre
Rayon d'observation	100 m



Légende	
+	Rabattement mesuré
—	Courbe théorique
Interprétation à l'aide de la solution	
Type aquifère	Captif
Coefficient d'ajustement de Nash-Sutcliffe	0,992 (-∞..1)
Transmissivité	$2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
Coefficient d'emmagasinement	$4,4 \times 10^{-2} (-)$
→ Effet de limites	
Angle entre la normale à la limite et le piézomètre	50 °
Limite 1	Alimentée
Distance à la première limite	195 m

