

## Réalisation du captage AEP des Christophes SMICA

\*\*\*

Sorel-Moussel (Eure-et-Loir, 28)

# Réalisation d'un forage d'alimentation en eau potable Rapport de fin de travaux



REDACTION		DIFFUSION	
Rédigé par	Document	Rapport de fin de	de
C.MENARD	Nombre de pages	79	
	Diffusion le	30 Septembre 2017	



**Syndicat Mixte Intercommunal du Canton d'Anet**

Mairie d'Anet  
25 rue Diane de Poitiers  
28 260 ANET

Interlocuteur :

M. Le Président, Francis Pecquenart  
Mail : [sicanet@wanadoo.fr](mailto:sicanet@wanadoo.fr)  
Tel : 02 37 62 55 25



**Utilities Performance**

26 rue du Pont Cotelle  
45100 ORLEANS

Chef de projet :

M. Dominique Chigot  
Mail : [d.chigot@utilities-performance.com](mailto:d.chigot@utilities-performance.com)  
Tél : 02 38 45 42 42



*Fondateurs de Up*



## Sommaire

<b>1. RAPPEL DU CONTEXTE .....</b>	<b>6</b>
<b>2. LOCALISATION .....</b>	<b>7</b>
<b>3. CHRONOLOGIE DES TRAVAUX RÉALISÉS .....</b>	<b>10</b>
<b>4. REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE.....</b>	<b>11</b>
<b>5. OBSERVATIONS GÉOLOGIQUES.....</b>	<b>13</b>
5.1. COUPE GÉOLOGIQUE .....	13
5.2. COUPE TECHNIQUE .....	14
<b>6. OBSERVATIONS HYDROGÉOLOGIQUES .....</b>	<b>16</b>
6.1. ESSAI DE POMPAGE PAR PALIERS DE DÉBITS .....	16
6.2. ESSAI DE POMPAGE DE LONGUE DURÉE (72 HEURES) .....	19
6.3. ESSAI DE TRAÇAGE .....	25
6.3.1. Traceurs utilisés.....	25
6.3.2. Conditions d'injection.....	25
6.3.3. Dispositif et durée de surveillance.....	26
6.3.4. Mode d'analyse pour la recherche des traceurs dans les échantillons prélevés .....	27
6.3.5. Résultats.....	27
6.3.6. Conclusions.....	29
<b>7. QUALITÉ DE L'EAU .....</b>	<b>29</b>
7.1. SUIVI DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DURANT LES ESSAIS DE POMPAGE.....	29
7.2. ANALYSE DE TYPE PREMIÈRE ADDUCTION .....	32
<b>8. OPÉRATIONS DE RÉCEPTION .....</b>	<b>35</b>
8.1. TEST DE VERTICALITÉ .....	35
8.2. INSPECTION TÉLÉVISÉE .....	37
8.3. DIAGRAPHIE GAMMA RAY.....	38
8.4. LOCALISATION DES VENUES D'EAU AU MICROMOULINET .....	39
8.5. CONTRÔLE DE CIMENTATION.....	41
8.5.1. Diagraphie Gamma-Gamma.....	41
8.5.2. Diagraphie CBL.....	41
8.5.3. Conclusions.....	42
<b>9. CONCLUSION .....</b>	<b>43</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>45</b>

## Figures

Figure 1 : Plan de localisation sur fond IGN 1/25 000 (Source : Géoportail – Août 2017).....	8
Figure 2 : Plan de localisation sur photographie aérienne (Source : Géoportail – Août 2017).....	9
Figure 3 : Coupe géologique et technique de l'ouvrage (Source : GESFOR – Septembre 2017).....	15
Figure 4 : Évolution du niveau dynamique pendant l'essai de pompage par paliers.....	17
Figure 5 : Interprétation de l'essai par paliers .....	18
Figure 6 : Évolution du niveau dynamique et du débit en fonction du temps au droit du forage et des deux piézomètres.....	20
Figure 7 : Évolution du rabattement et du débit en fonction du temps au droit du forage et des deux piézomètres.....	21
Figure 8 : Évolution du niveau dynamique et du débit en fonction du temps au droit des forages de la Ferme Ficelle et des Vallots .....	22
Figure 9 : Interprétation de l'essai de longue durée au droit du forage (Source : OUAIP – Septembre 2017).....	23
Figure 10 : Interprétation de l'essai de longue durée au droit du piézomètre Fe5 (Source : OUAIP – Septembre 2017).....	23
Figure 11 : Interprétation de l'essai de longue durée au droit du piézomètre PZ1 (Source : OUAIP – Septembre 2017).....	24
Figure 12 : Localisation des points d'injection et de surveillance Fe5 (Source : Rapport EDREE – Septembre 2017).....	26
Figure 13 : Courbe de restitution du naphthionate en concentration (Source : Rapport EDREE – Septembre 2017).....	27
Figure 14 : Courbe de restitution du naphthionate en pourcentage (Source : Rapport EDREE – Septembre 2017).....	28
Figure 15 : Évolution de la turbidité et du débit en fonction du temps.....	31
Figure 16 : Contrôle de la verticalité (source : GHI – Mars 2017) .....	36
Figure 17 : Diagraphie au micromoulinet (source : GHI – Septembre 2017) .....	40

## Tableaux

Tableau 1 : Coordonnées géographiques (Lambert 93) et cadastrales du projet de forage .....	7
Tableau 2 : Caractéristiques des forages et piézomètres.....	19
Tableau 3 : Paramètres hydrodynamiques de la nappe.....	24
Tableau 4 : Lieux d'injection Source : Rapport EDREE – Septembre 2017).....	25
Tableau 5 : Restitution du naphthionate (Source : Rapport EDREE – Septembre 2017) .....	28
Tableau 6 : Synthèse des résultats du suivi qualitatif .....	30



## Annexes

---

Annexe 1 Cahier de terrain (source : MASSE) .....	46
Annexe 2 Évolution du niveau dynamique pendant les pompages par paliers (source : MASSE) .....	47
Annexe 3 Évolution du niveau dynamique pendant le pompage de longue durée (source : MASSE) .....	59
Annexe 4 Rapport de traçage (source : EDREE) .....	75
Annexe 5 Bulletins d'analyses des paramètres physicochimiques (source : CARSO) .....	76
Annexe 6 Rapport d'analyse de type Première adduction (source : CARSO) .....	77
Annexe 7 Test de verticalité (source : GHI) .....	78
Annexe 8 Opérations de réception (source : GHI) .....	79

## 1. RAPPEL DU CONTEXTE

---

Le Syndicat Mixte Intercommunal du Canton d'Anet exerce aujourd'hui la compétence « Production d'Eau potable » sur son territoire ; à savoir 13 communes situées au nord de la ville de Dreux : Anet, Abondant, Broue, Bû, Chérisy, Germainville, Havelu, Marchezais, Mézières en Drouais, Montreuil, Saussay, Serville et Sorel-Moussel.

Depuis 2007, le SMICA a entrepris la sécurisation de son alimentation en eau potable. Actuellement le secteur Nord, interconnecté avec le secteur sud au moyen des sites de production du Poteau du Vallot et de la Ferme Ficelle, reste fragile. Les deux sites précités ne disposent en effet que d'un forage de faible diamètre avec une seule pompe.

Le nouveau forage des Christophes a été **déclaré au titre du Code de l'Environnement**. Il a fait l'objet d'un récépissé de déclaration préfectoral d'Eure-et-Loir n°28 -2016-00153 en date du 28 juillet 2016, au titre de la rubrique 1.1.1.0 de la nomenclature IOTA. Le numéro BSS de l'ouvrage est en cours d'obtention.

Les travaux ont été réalisés par l'entreprise Forages MASSE du 13 février au 27 juillet 2017.

Ce rapport rend compte des travaux réalisés.

## 2. LOCALISATION

Le forage « Les Christophes » est implanté sur le territoire communal de Sorel-Moussel (département de l'Eure et Loir, 28), au lieu-dit « Les Christophes ». Il se situe en lisière immédiate de la forêt domaniale de Dreux et à une distance de l'ordre de 220 mètres des premières habitations du hameau « Les Christophes ».

Son environnement immédiat est marqué par la présence, à 150 m à l'Ouest, de la route départementale n°217, laquelle relie le hameau « Les Christophes » à la RD 928.

La localisation du forage est précisée ci-après.

**Tableau 1 : Coordonnées géographiques (Lambert 93) et cadastrales du projet de forage**

Localisation	X	Y	Z NGF	Commune	Section	Parcelle
	Lambert 93	Lambert 93				
Forage	582 452 m	6 859 378 m	117	Sorel Moussel	ZH	69

Le site du forage comprend également deux piézomètres (localisés en Figure 2) :

- Le forage d'essai Fe5, situé à 14,35 m du forage définitif ;
- Le piézomètre PZ1, situé à 145 m du forage définitif.



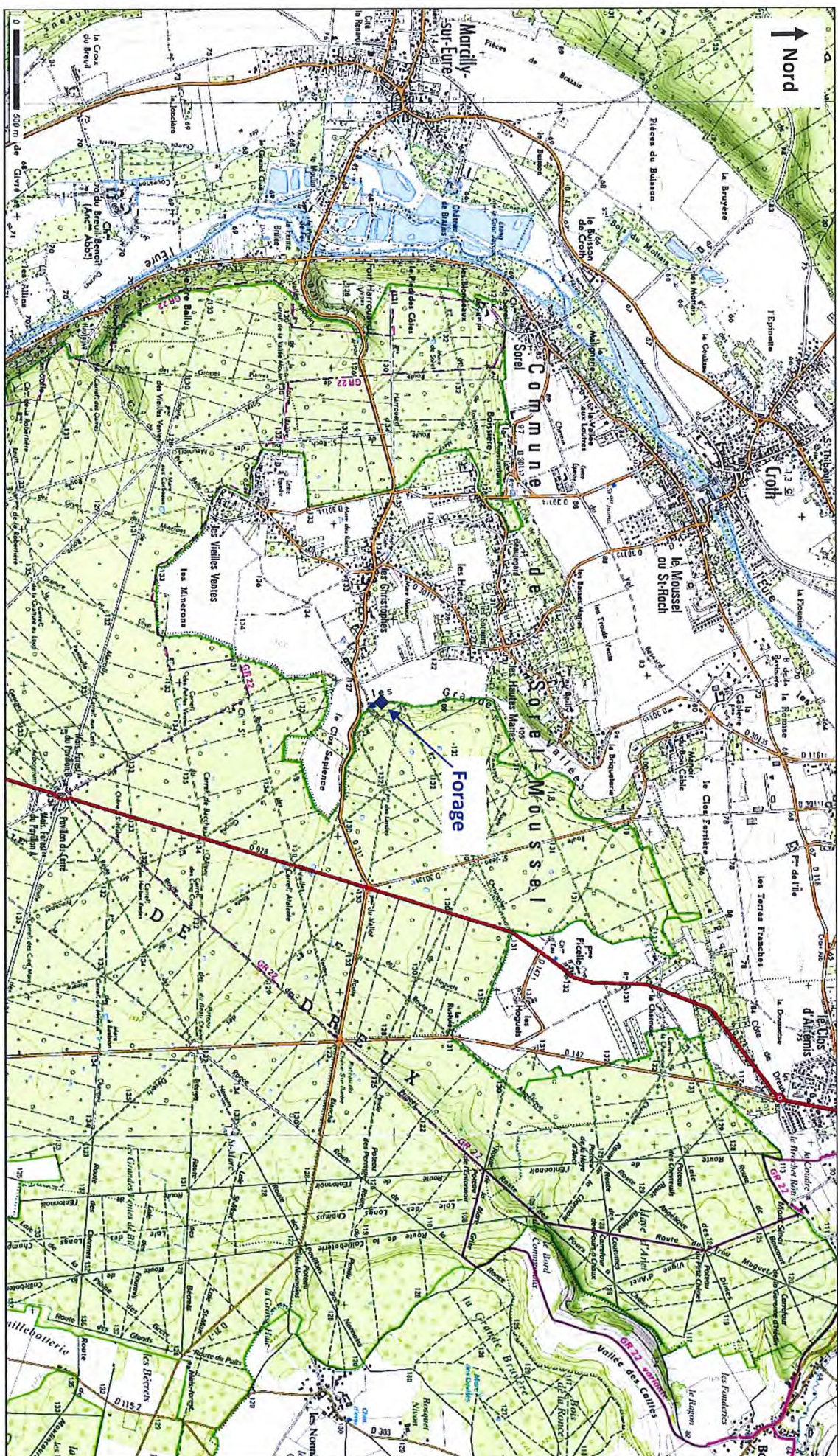


Figure 1 : Plan de localisation sur fond IGN 1/25 000 (Source : Géoportail – Août 2017)



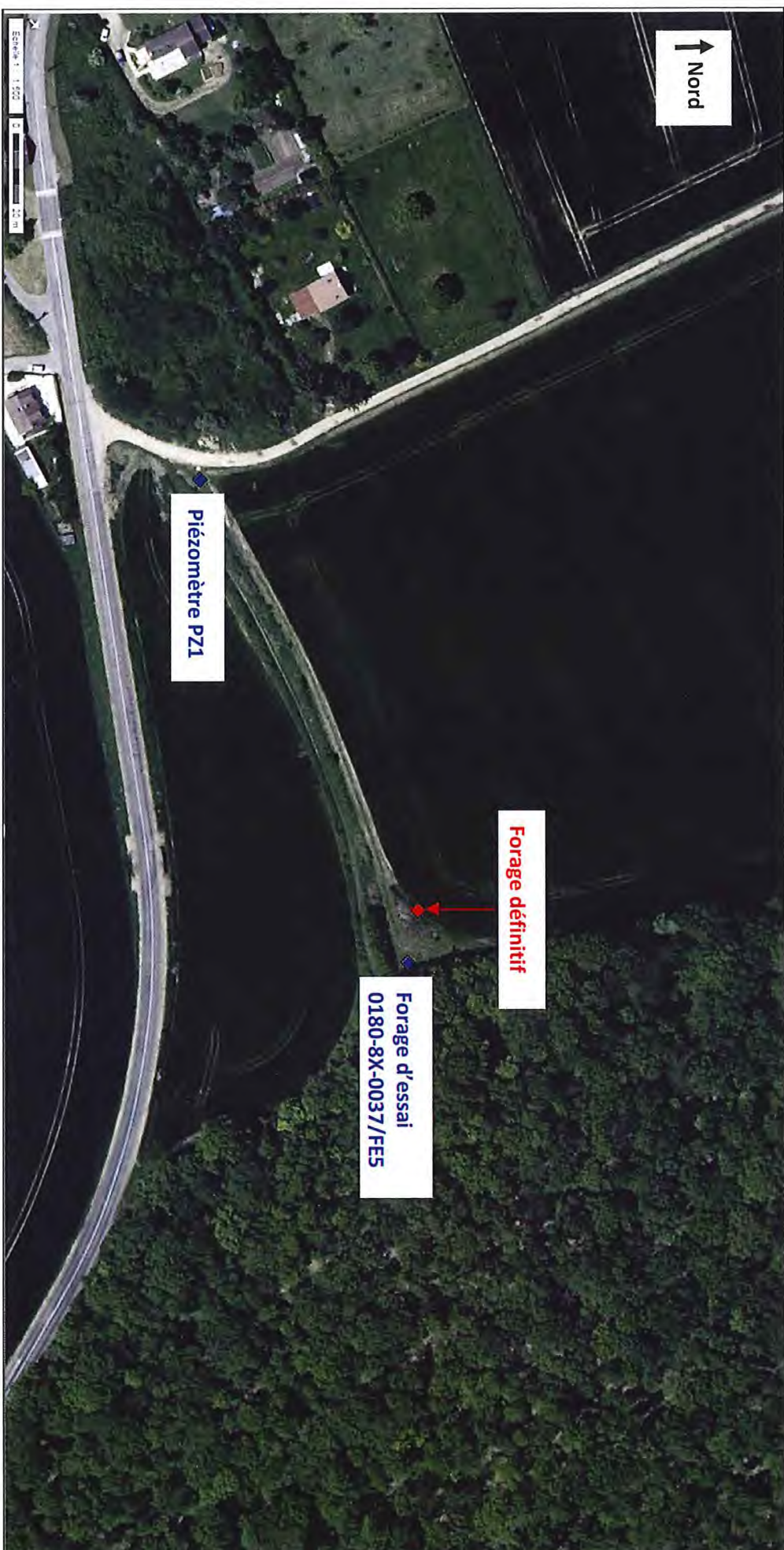


Figure 2 : Plan de localisation sur photographie aérienne (Source : Géoportail – Août 2017)



### 3. CHRONOLOGIE DES TRAVAUX RÉALISÉS

L'entreprise Forages Massé a été retenue pour la réalisation des travaux de forage.

Les travaux ont été réalisés du 13 février au 27 juillet 2017 :

- Implantation de la machine de forage le 1<sup>er</sup> février 2017 ;
- Semaine 6 : Réalisation de l'avant-puits en diamètre 711 mm ;
- Semaine 7 : Foration en diamètre 660 mm jusqu'à 26m ;
- Semaine 8 : Fin de la foration en diamètre 660 mm jusqu'à 79,5 m ;
- Semaine 9 : Réalisation d'un contrôle de verticalité le 28 février 2017 ;
- Semaine 10 : Pose du tubage de diamètre 558 mm à 79,3 m, dépassant de 0,5 m du sol ;
- Du 9 au 16 mars : Cimentation (en raison de pertes importantes, injection de 14 m<sup>3</sup> au lieu de 6 initialement prévus) ;
- Semaine 12 : Foration de l'aquifère en diamètre 445 mm entre 79,5 et 81 m ;
- Semaine 13 : Poursuite de la foration de l'aquifère. Entre 84 et 86 m, l'ouvrage se referme et se remblaie (remblai composé de sable fin, d'argile et de blocs roulés). Impossibilité technique de dépasser 90 m. Nécessité de changer de machine et de procéder avec un tubage à l'avancement. Mise en stand-by du chantier le temps de faire venir la machine et de commander le matériel).
- Semaine 23 : Arrivée de la nouvelle foreuse et reprise du chantier ;
- Semaine 24 : Descente du tubage à l'avancement jusqu'à 95,5 m (cote prévue), équipement en inox 273 mm, début du gravillonnage jeudi 15 juin ;
- Semaine 25 : Poursuite du gravillonnage. En raison des pertes, le volume de gravier injecté est de 20 m<sup>3</sup> soit plus de 15 fois le volume théorique.
- Semaine 26 : Mise en eau claire par air-lift double colonne, l'eau ne présente pas de sable ;
- Semaine 27 : Nettoyage à la pompe, bons résultats et mise en place d'une pompe plus puissante pour la poursuite des essais ;
- Semaine 28 : Pompage de nettoyage
- Semaine 29 : Injection du traceur dans le fossé le 17/07, Essais par paliers de débits de 2h non enchaînés les 19 et 20 juillet (débits de 120, 140, 160 et 182 m<sup>3</sup>/h), prélèvement d'échantillons d'eau à l'issue de chaque palier ;
- Semaine 30 : Essai de pompage de longue durée à 150 m<sup>3</sup>/h entre le 24 et le 27 juillet, essai de traçage simultané (injection de traceur dans les deux piézomètres le 24/07), prélèvements ponctuels deux fois par jours et prélèvement en fin d'essai pour analyse de type première adduction ;
- Semaine 36 : Opérations de réception (diagraphies, inspection vidéo, micromoulinet).



#### 4. REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE

Le reportage photographique suivant présente l'avancée du chantier :



Photo 1 : Implantation de la foreuse



Photo 2 : Tube inox Ø 558 mm



Photo 3: Tube et sabot de cimentation



Photo 4 : Pose du tubage





Photo 5 : Cimentation du tubage

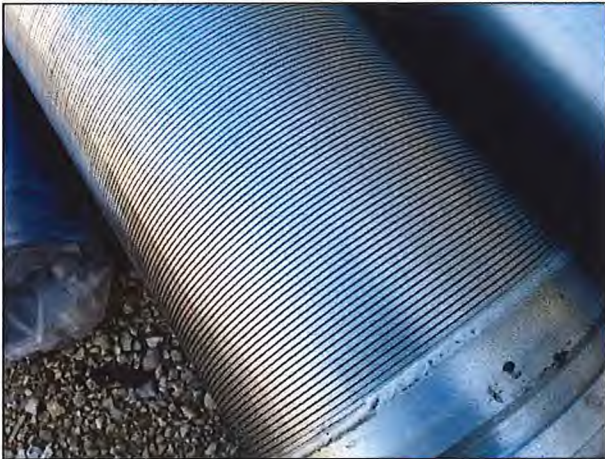


Photo 6 : Tubes crépinés



Photo 7 : Crépines de slot 0,85 mm



Photo 8 : Crépines de slot 1,5 mm

Photo 9 : Canalisations en place



## 5. OBSERVATIONS GÉOLOGIQUES

---

Les travaux ont été réalisés du 13 février au 27 juillet 2017.

### 5.1. Coupe géologique

L'analyse des cuttings durant la foration a permis d'établir la coupe géologique suivante :

- De 0 à 3 m : Argile de décalcification ;
- De 3 à 36 m : Craie marneuse, peu de silex ;
- De 36 à 77 m : Craie plus ou moins indurée à nombreux silex noirs ;
- De 77 à 79,50 m : Craie plus ou moins indurée à nombreux silex noirs avec apparition de sable blond ;
- De 79,5 à 81 m : Craie plus ou moins indurée ;
- De 81 à 95,5 m : Craie déstructurée et fracturée, avec remplissage d'argile brune, de sable blond fin, de blocs de craie et de silex roulés.

À partir de cette coupe, nous proposons l'interprétation géologique suivante :

- De 0 à 3 m : Argile de décalcification ;
- De 3 à 81 m : Craie du Sénonien ;
- De 81 à 95,5 m : Craie du Sénonien avec paléokarst.

## 5.2. Coupe technique

La coupe technique est la suivante :

- Foration en  $\varnothing$  1000 mm (39''3/8) de -0 à -10 m
  - Pose d'un tube technique en  $\varnothing$  711 mm en acier entre 0 et 10 m avec cimentation à l'extrados ;
- Foration en  $\varnothing$  660 mm (26'') de -5 à -79,60 m,
  - Mise en place d'un tube INOX AISI 304  $\varnothing$  558 mm (22'') de +1 m à -79,30 m ;
  - Cimentation sous pression de l'espace annulaire.
  - Deux centreurs en INOX ont préalablement installés pour la pose du tubage en diamètre 558 mm, aux profondeurs de 5 et 73 m de profondeur.
- Foration en  $\varnothing$  445 mm (17<sup>1/2</sup>'') de -79,60 à -95,5 m,
  - Mise en place d'un tube INOX AISI 304  $\varnothing$  273mm :
    - Plein de -73,88 à -80,38 m/sol,
    - Crépiné de -80,38 à -92,38 m/sol (fil enroulé, avec un slot de 1 mm),
    - Plein de -92,38 à -95,38 m/sol (décanteur).
  - Mise en place d'un massif de gravier de calibre 2/5 mm ou équivalent, de -79 ;6 m jusqu'au fond de l'ouvrage.
  - Deux centreurs en inox ont été mis en place à 80 m et à 94 m de profondeur environ.

En raison de la présence d'un paléokarst entre 80 et 84 m, la quantité de gravier mis en place a été plus importante que prévu. Ainsi, 21 tonnes de gravier 2/4 puis 2,4 tonnes de gravier 4/8 soit 17 m<sup>3</sup> au total ont été mis en place.

La coupe finale est présentée en Figure 3.



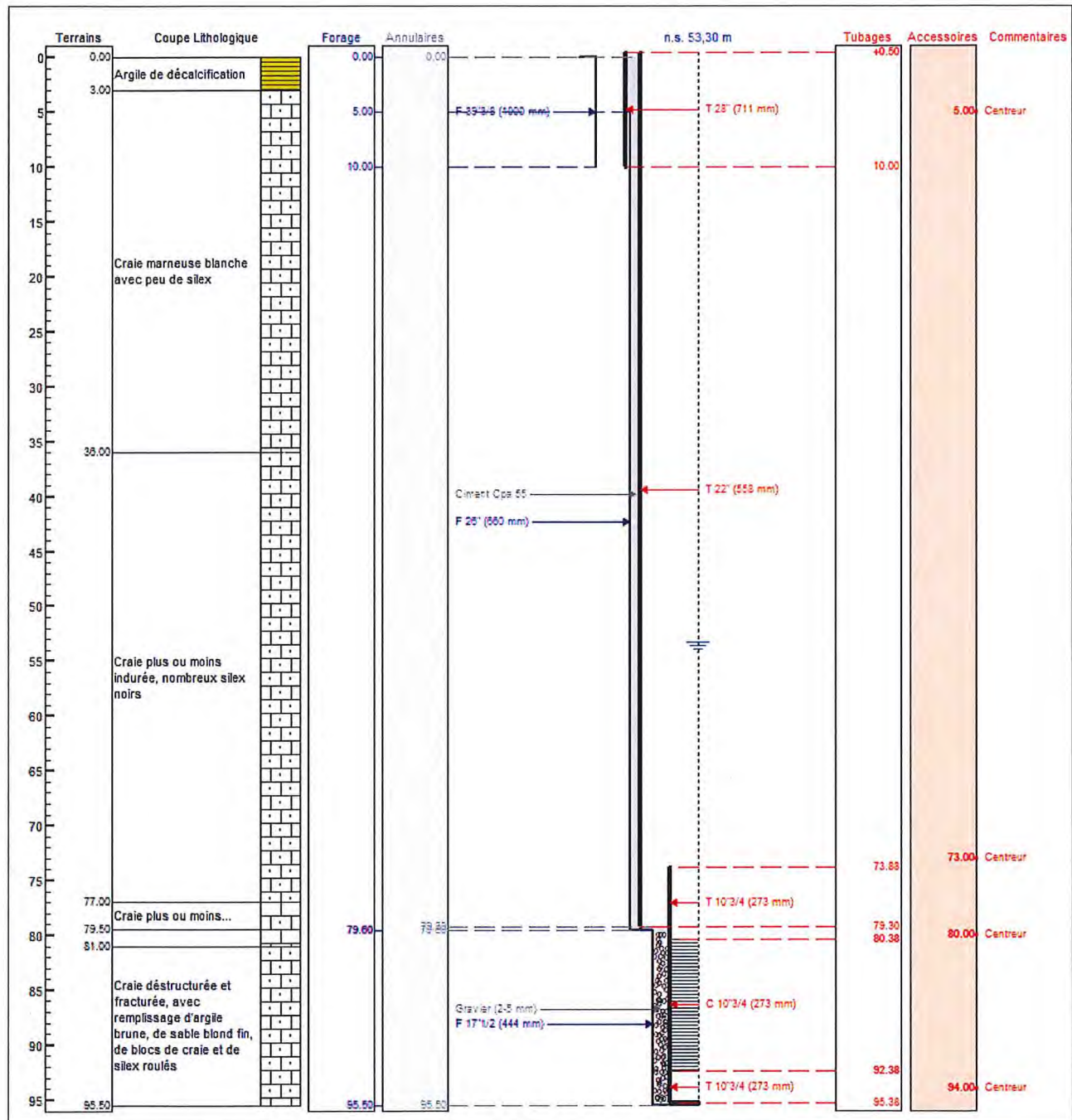


Figure 3 : Coupe géologique et technique de l'ouvrage (Source : GESFOR – Septembre 2017)

## 6. OBSERVATIONS HYDROGÉOLOGIQUES

---

### 6.1. Essai de pompage par paliers de débits

Un essai de pompage par paliers non enchainés de 2h suivis de 2h de remontée a été réalisé sur le forage F2 (rejet) aux débits de 120, 140, 160 et 180 m<sup>3</sup>/h les 19 et 20 juillet 2017. Le niveau statique au démarrage de l'essai était de 53,94 m/sol.

Un palier supplémentaire de 2h a été mené le 18/07 durant la fin du nettoyage pour disposer de valeurs indicatives à 150 m<sup>3</sup>/h. Ces valeurs sont cohérentes avec les 4 paliers réalisés dans le cadre de l'essai du 19-20 et ont donc été intégrées à l'interprétation.

L'évolution du niveau dynamique en fonction du temps est présentée en Figure 4.

Les données brutes sont présentées en annexe 2.



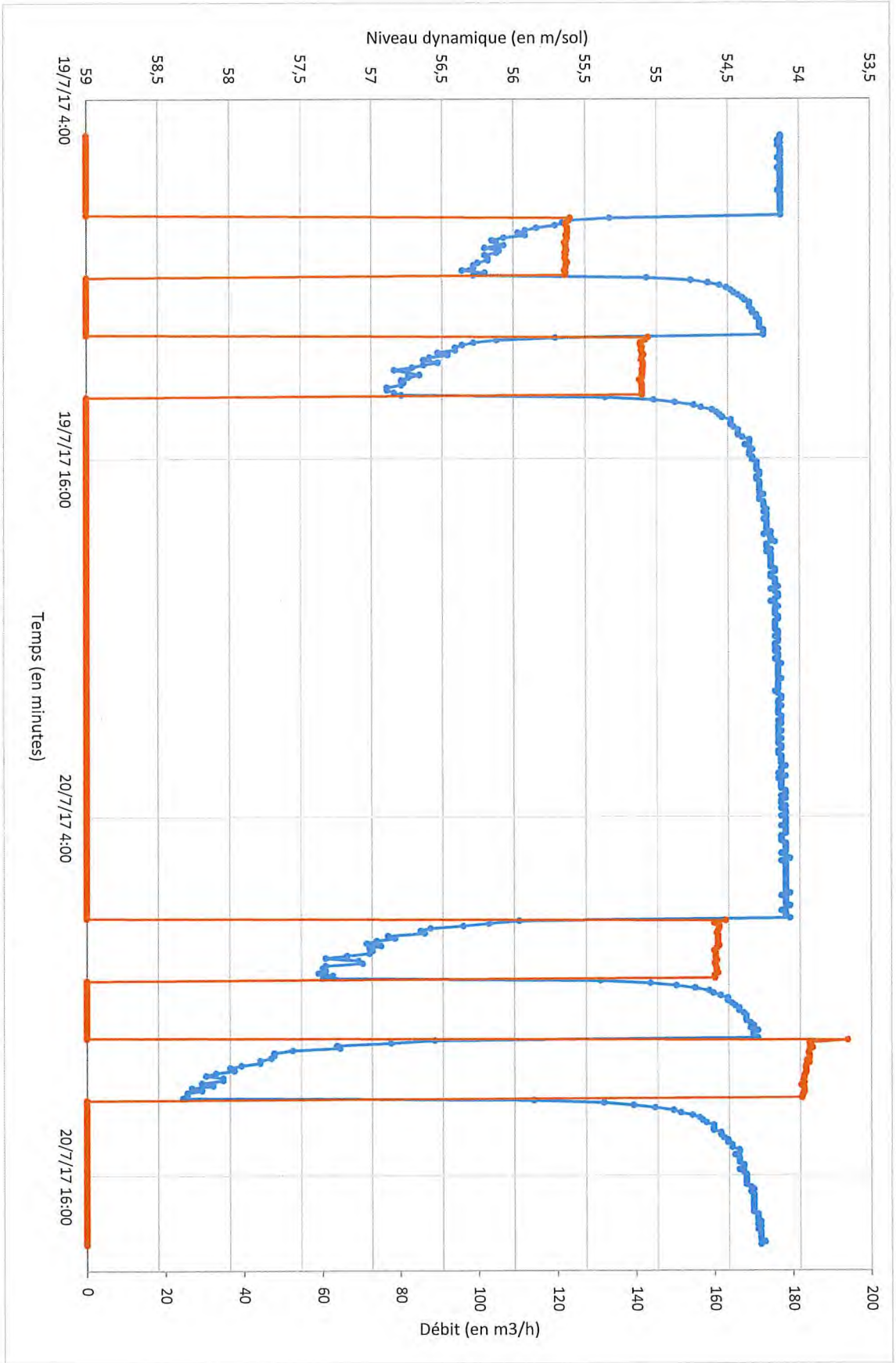


Figure 4 : Évolution du niveau dynamique pendant l'essai de pompage par paliers



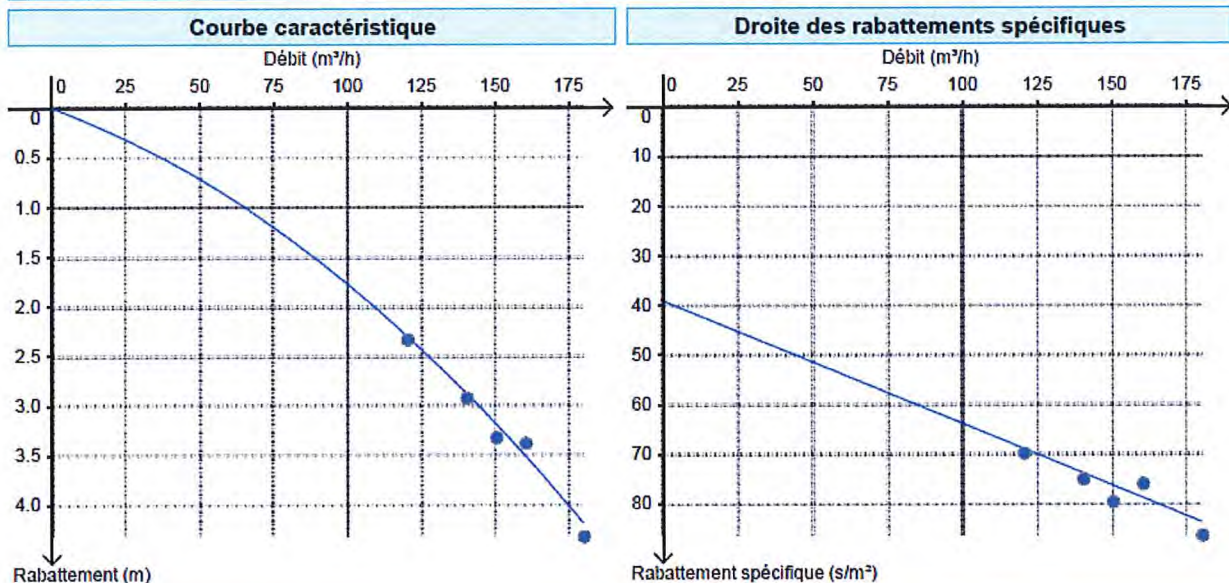
Il apparaît que le point d'équilibre entre les pertes de charges linéaires et quadratiques est situé vers  $150 \text{ m}^3/\text{h}$ . Le pompage de longue durée a donc été mené au débit de  $150 \text{ m}^3/\text{h}$ .



## Essai par paliers



Site	Les Christophes	Société	Ets Massé
Projet	Les Christophes	Aquifère capté	Craie
Client	SICANET	Type d'ouvrage	Puits



Légende		Légende	
●	Points expérimentaux	●	Points expérimentaux
—	Courbe caractéristique du puits	—	Rabattement spécifique

Pompage par palier	Débit ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Rabattement mesuré (m)	Temps de pompage (min)	Temps de remontée (min)	Rabattement linéaire calculé (m)	Rabattement quadratique calculé (m)	Rabattement spécifique mesuré ( $\text{h}/\text{m}^2$ )	Rabattement spécifique calculé ( $\text{h}/\text{m}^2$ )	Écart (sim-obs) (m)
Palier 1	120	2.32	-	-	1.3	0.99	$1.93 \times 10^{-2}$	$1.91 \times 10^{-2}$	$-2.67 \times 10^{-2}$
Palier 2	140	2.91	-	-	1.5	1.4	$2.06 \times 10^{-2}$	$2.05 \times 10^{-2}$	$-4.13 \times 10^{-2}$
Palier 3	150	3.31	-	-	1.6	1.6	$2.21 \times 10^{-2}$	$2.12 \times 10^{-2}$	-0.133
Palier 4	160	3.37	-	-	1.7	1.8	$2.11 \times 10^{-2}$	$2.19 \times 10^{-2}$	0.129
Palier 5	180	4.31	-	-	2	2.2	$2.39 \times 10^{-2}$	$2.33 \times 10^{-2}$	-0.125

Résultats de l'ajustement		
Coef. de pertes de charges linéaires (B)	$1.08 \times 10^{-2} \text{ h}/\text{m}^2$	<b>39 <math>\text{s}/\text{m}^2</math></b>
Coef. de pertes de charges quadratiques (C)	$6.9 \times 10^{-5} \text{ h}^2/\text{m}^5$	<b>894 <math>\text{s}^2/\text{m}^5</math></b>
Exposant (n)	2.00	

Figure 5 : Interprétation de l'essai par paliers



## 6.2. Essai de pompage de longue durée (72 heures)

L'essai de pompage de longue durée a été mené du 24 au 27 juillet 2017 à un débit de 150 m<sup>3</sup>/h environ. À l'issue des 72h de pompage, le niveau dynamique était pseudo-stabilisé à 58,51 m/sol, soit un rabattement de 4,57 m. Le débit spécifique de l'ouvrage (débit / rabattement) est de 32,8 m<sup>3</sup>/h/m.

Le piézomètre PZ1 et le forage d'essai Fe5 ont également été suivis pendant l'essai (données intégrales en annexe 3).

Les données recueillies sont présentées en Figure 6 (niveau dynamique) et en Figure 7 (rabattement).

**Tableau 2 : Caractéristiques des forages et piézomètres**

	Distance au forage	Diamètre (m)	Débit de pompage (m <sup>3</sup> /h)	NS (m/sol)	ND stabilisé (m/sol)	Rabattement max (m)	Débit spécifique (m <sup>3</sup> /h/m)
Forage d'exploitation	0	0,273	150	53,94	58,51	4,57	32,82
Forage d'essai Fe5	14,35	0,398	0	54,01	58,27	4,26	-
Piézomètre PZ1	145	0,165	0	62,02	63,07	1,05	-

### Commentaires concernant l'évolution du niveau piézométrique :

Le niveau piézométrique s'est lentement stabilisé à 58,5 m/sol. Le niveau statique ayant été mesuré à 53,94 m/sol avant l'essai de longue durée, le rabattement engendré par le pompage à 150 m<sup>3</sup>/h est donc de 4,57m. On en déduit donc un débit spécifique de 32,8 m<sup>3</sup>/h/m, traduisant une productivité de la nappe relativement importante. Par ailleurs, le niveau piézométrique retrouve son état initial (53,9 m/sol) assez lentement (niveau statique non atteint 8h après la fin du pompage).

### Commentaires concernant l'incidence sur les deux piézomètres

Il apparaît au vu des chroniques piézométriques enregistrées via les sondes automatiques que les deux piézomètres ont réagi au pompage (voir Figure 6 et Figure 7).

Le forage de reconnaissance Fe5, situé en contrebas du forage d'exploitation (à 14,35 m de celui-ci) présente un niveau statique de 54,01 m/sol et un niveau dynamique pseudo-stabilisé de 58,27 m/sol en fin de pompage de longue durée. Le rabattement maximal est de 4,26 m, soit légèrement inférieur au rabattement observé sur le forage d'exploitation.

Le piézomètre PZ1, situé à 145 m du forage, présente une réaction atténuée au pompage. Le niveau statique est de 62,02 m/sol alors que le niveau dynamique apparaît pseudo-stabilisé à 63,07 m/sol en fin de pompage. Le rabattement correspondant est donc de 1,05 m.

### Commentaires concernant l'incidence sur les forages de la Ferme Ficelle et des Vallots

Le suivi piézométrique réalisé sur les forages de la Ferme Ficelle et des Vallots pendant l'essai de pompage de longue durée a été fourni par le délégataire.

Il s'avère que l'influence du pompage au droit des Christophes sur ces ouvrages est nulle (voir en Figure 8).

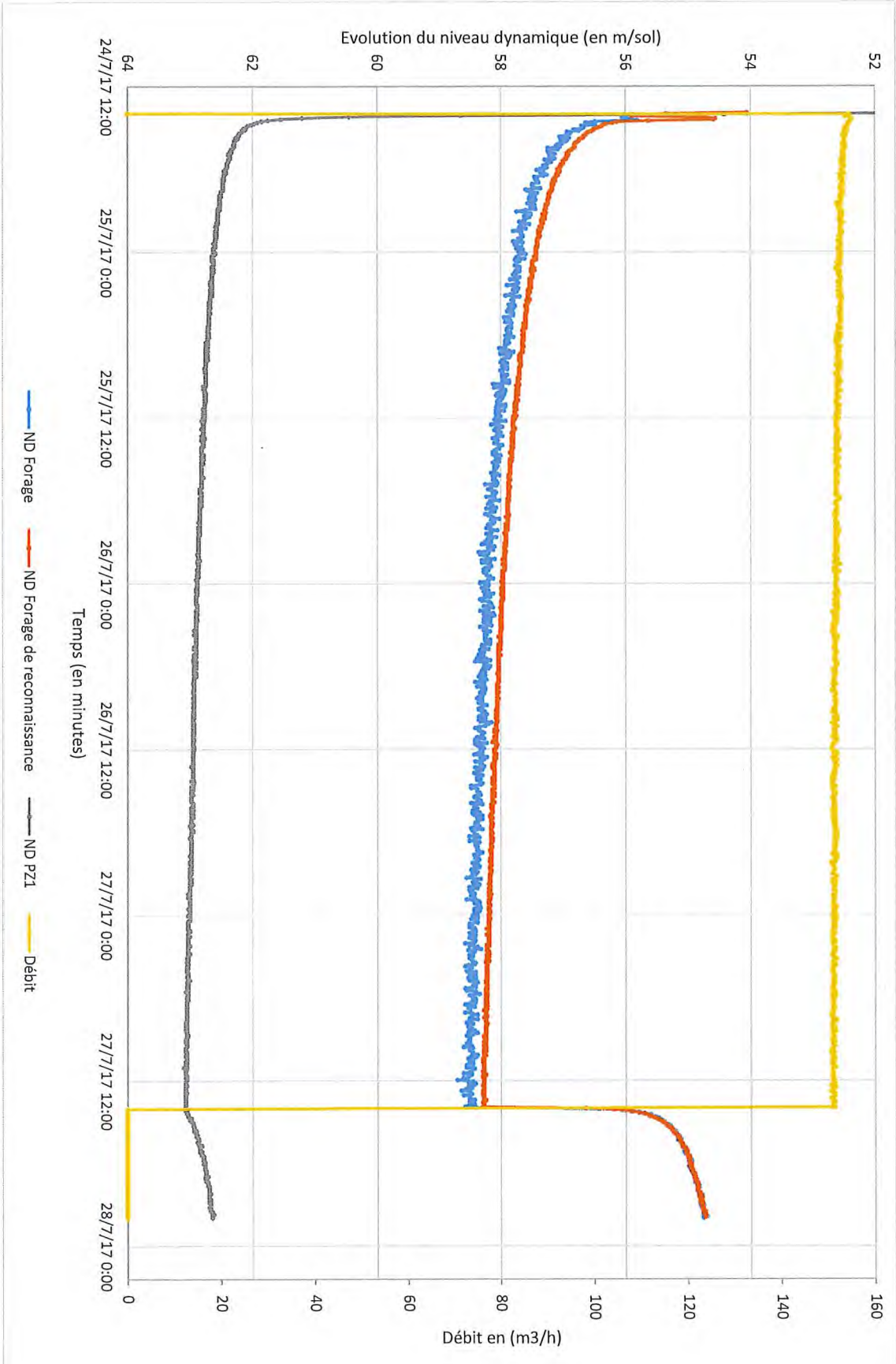


Figure 6 : Évolution du niveau dynamique et du débit en fonction du temps au droit du forage et des deux piézomètres





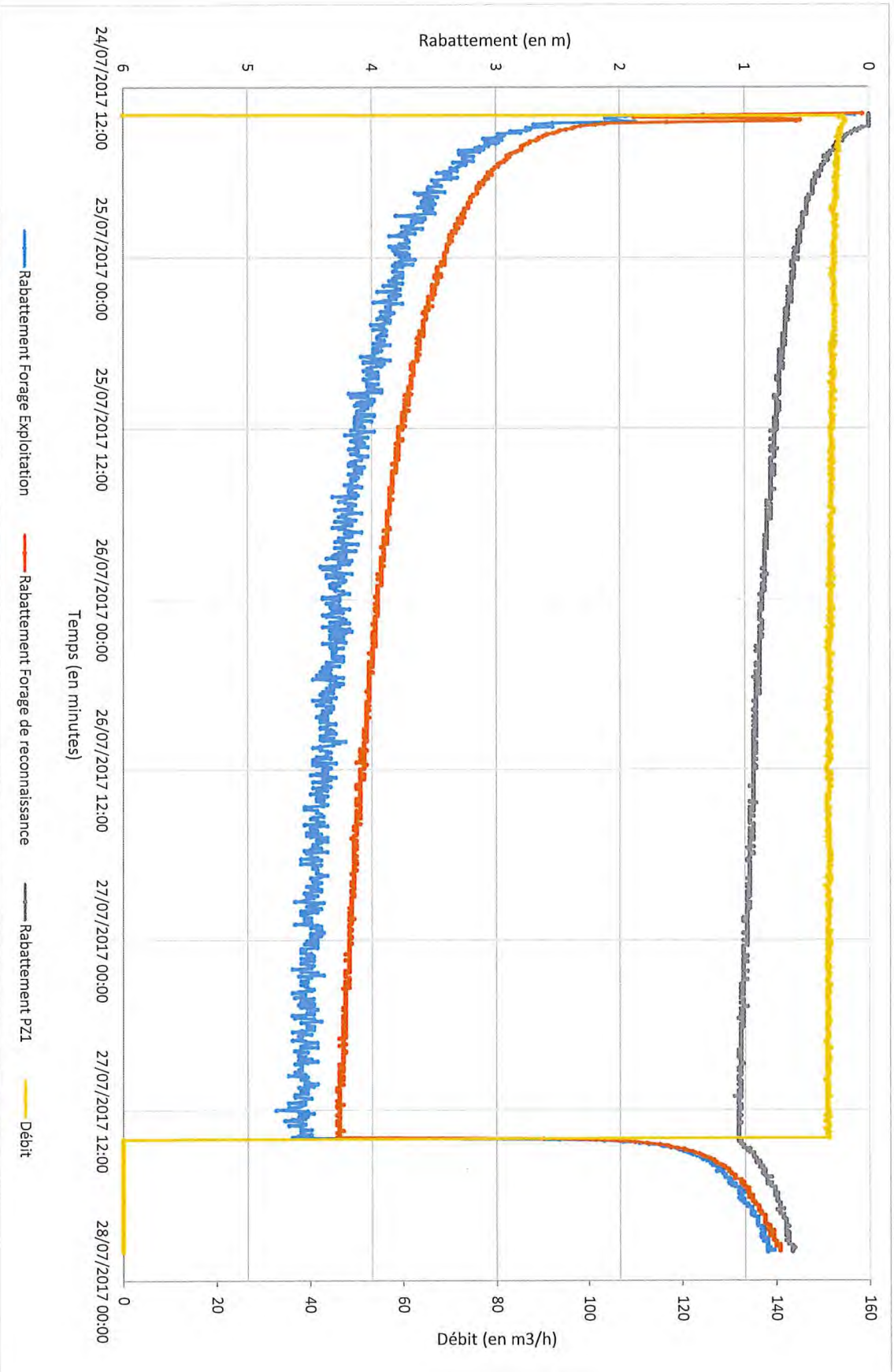


Figure 7 : Évolution du rabattement et du débit en fonction du temps au droit du forage et des deux piézomètres

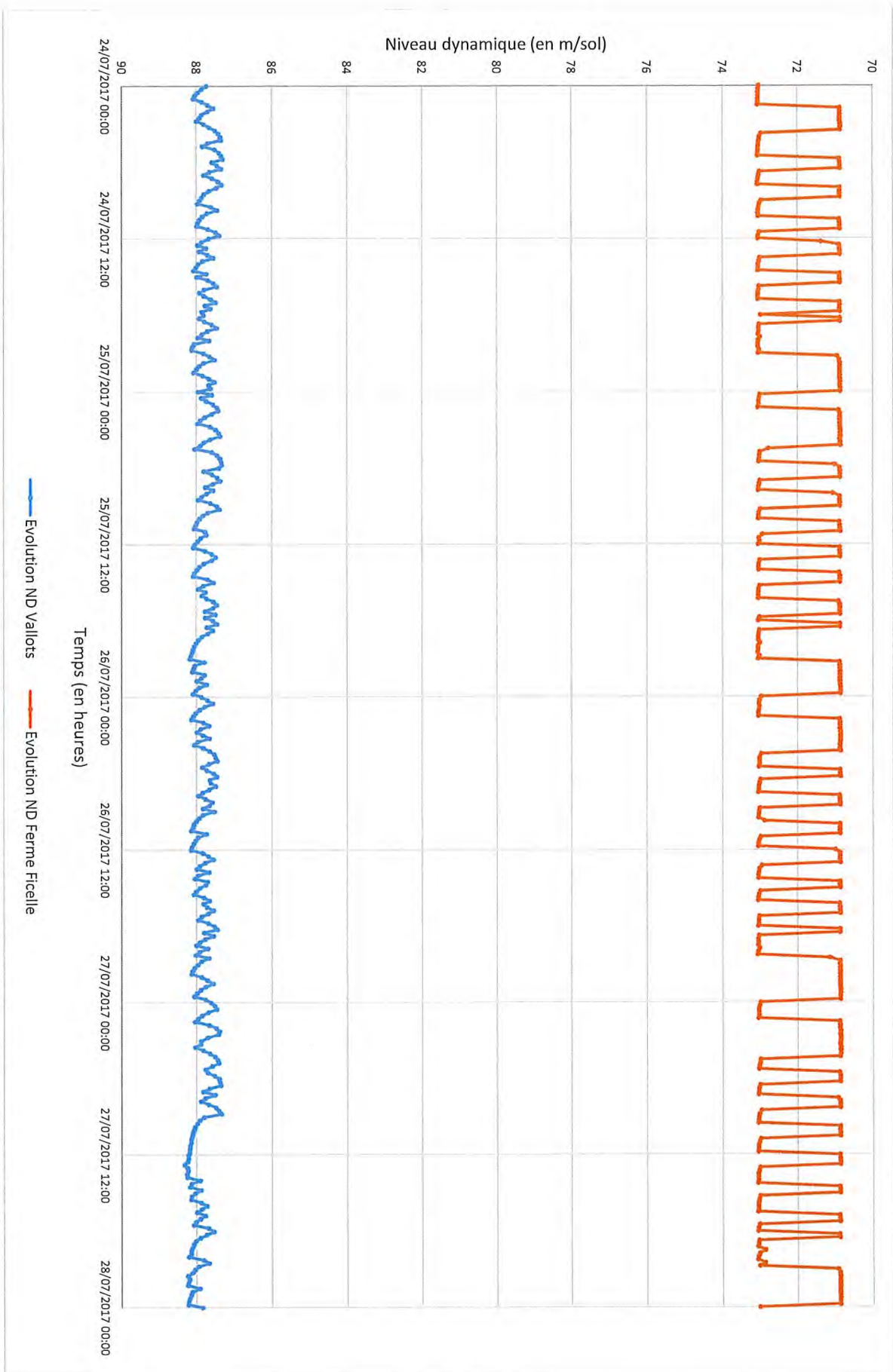


Figure 8 : Évolution du niveau dynamique et du débit en fonction du temps au droit des forages de la Ferme Ficelle et des Vallots





Les données du suivi du niveau dynamique dans le forage et dans les deux piézomètres (Pz1 et Fe5) ont été interprétées à l'aide du logiciel OUAIP développé par le BRGM et sont présentées ci-après.

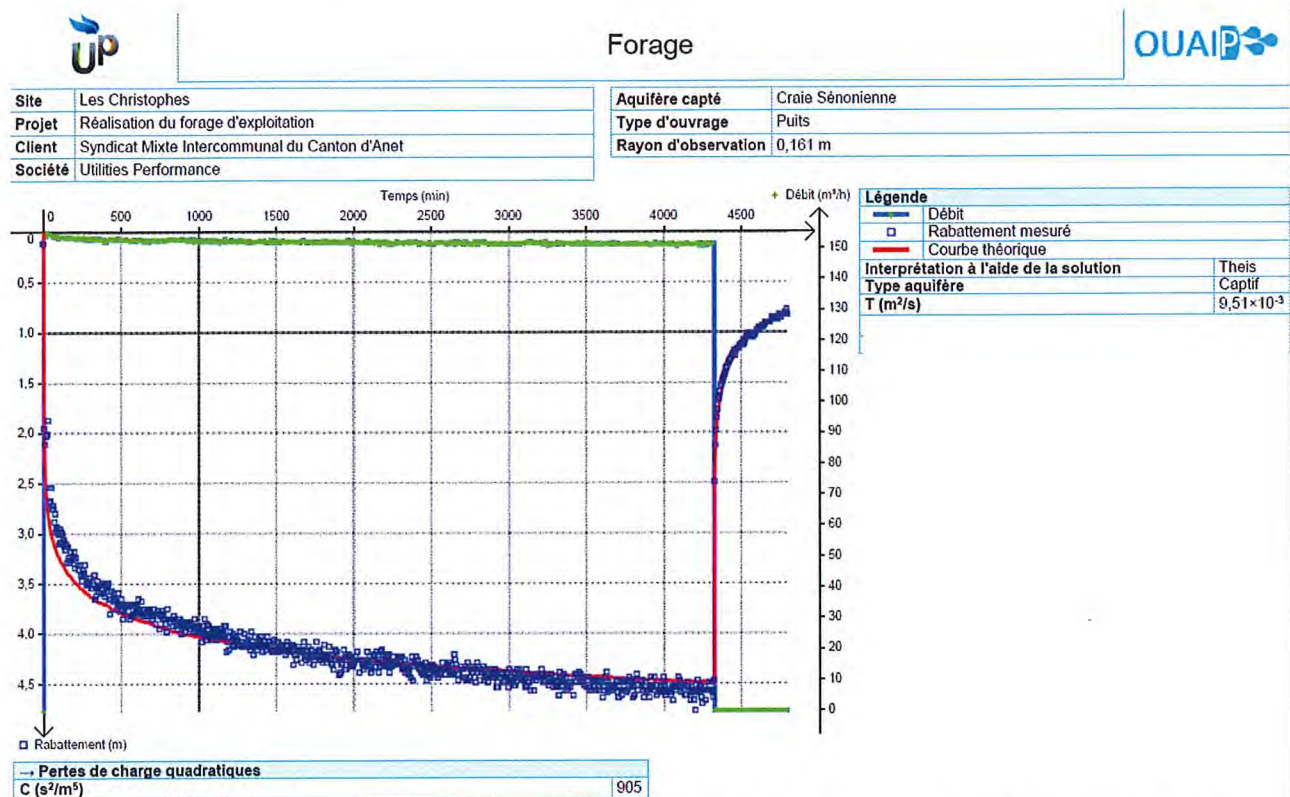


Figure 9 : Interprétation de l'essai de longue durée au droit du forage (Source : OUAIP – Septembre 2017)

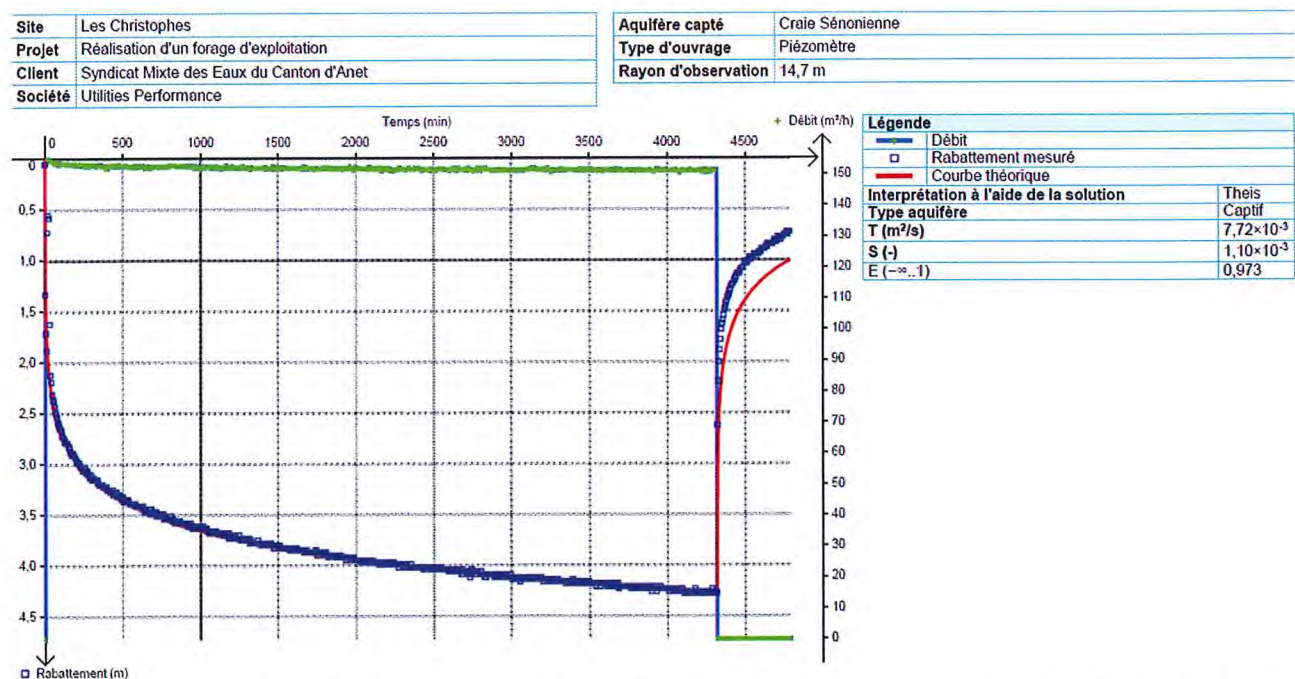


Figure 10 : Interprétation de l'essai de longue durée au droit du piézomètre Fe5 (Source : OUAIP – Septembre 2017)

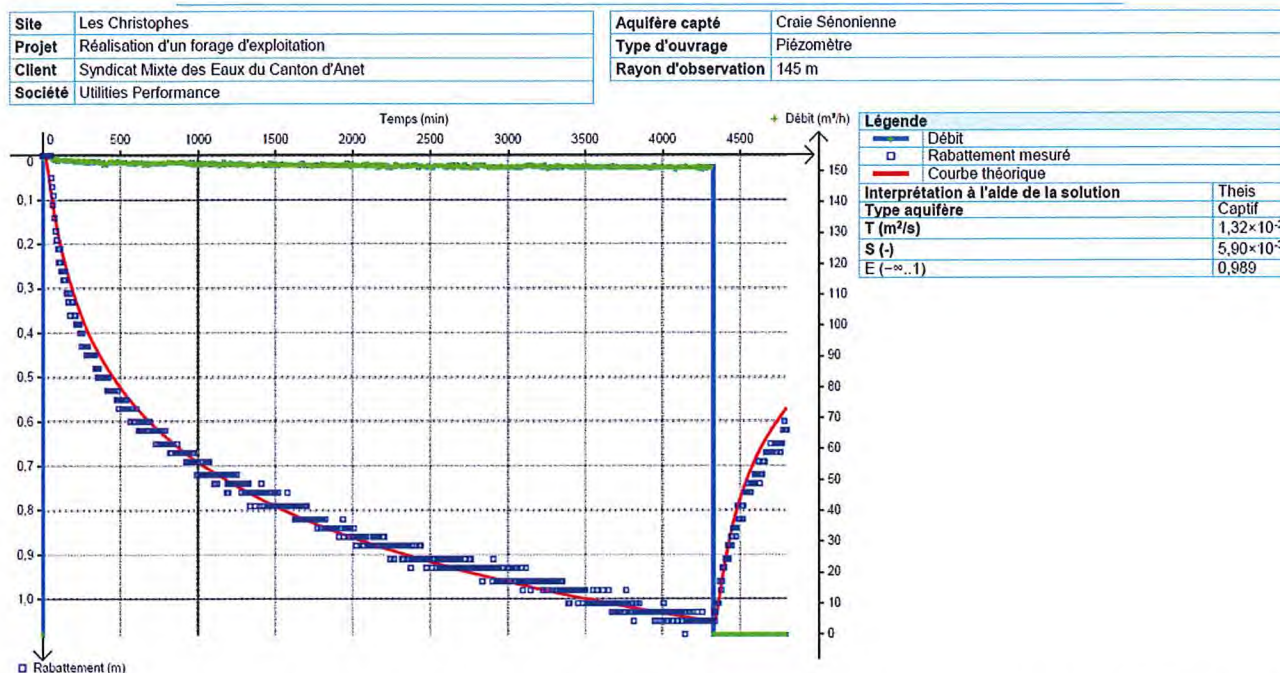


Figure 11 : Interprétation de l'essai de longue durée au droit du piézomètre PZ1 (Source : OUAIP – Septembre 2017)

Les différentes interprétations au droit du forage et des deux piézomètres ont permis de calculer les paramètres hydrodynamiques de la nappe de la craie. Ces paramètres sont rappelés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Paramètres hydrodynamiques de la nappe

	Distance au forage	NS (m/sol)	ND stabilisé (m/sol)	Rabatement max (m)	Débit spécifique (m³/h/m)	Transmissivité (m²/s)	Coefficient d'Emmagasinement (-)
Forage d'exploitation	0	53,94	58,51	4,57	32,82	$9,50 \cdot 10^{-3}$	-
Forage d'essai Fe5	14,35	54,01	58,27	4,26	-	$7,72 \cdot 10^{-3}$	$1,10 \cdot 10^{-3}$
Piézomètre PZ1	145	62,02	63,07	1,05	-	$1,32 \cdot 10^{-2}$	$5,90 \cdot 10^{-3}$

Ces valeurs sont cohérentes avec les données issues des études menées sur le forage d'essai en 2001-2002 et qui indiquaient une transmissivité comprise entre  $1,4 \cdot 10^{-3}$  à  $8 \cdot 10^{-3}$  m²/s et un coefficient d'emmagasinement de  $9,2 \cdot 10^{-3}$ .

### Conclusions sur les paramètres hydrodynamiques

En conclusion, les paramètres suivants sont retenus :

- $T = 7,7 \cdot 10^{-3}$  à  $1,3 \cdot 10^{-2}$  m²/s ;
- $S = 1,1$  à  $5,5 \cdot 10^{-3}$ .



### 6.3. Essai de traçage

L'essai de traçage demandé par l'hydrogéologue agréé a été réalisé en parallèle de l'essai de pompage de longue durée par la société EDREE.

Le rapport d'intervention est présenté en annexe 4. Les éléments suivants en sont issus.

L'essai a été réalisé simultanément au pompage mené à un débit de 150 m<sup>3</sup>/h sur le forage d'exploitation. Les points d'injection étaient les suivants :

- Le piézomètre PZ1 (injection le 24/07/2017),
- Le forage d'essai Fe5 (injection le 24/07/2017),
- Le fossé à proximité de la D21.7, via un gouffre naturel (injection le 17/07/2017).

#### 6.3.1. Traceurs utilisés

Trois traceurs fluorescents différents (le naphthionate, le jaune duasyn et l'uranine ou sel sodique de la fluorescéine) ont été utilisés.

Les trois traceurs fluorescents ont été choisis de telle manière que les risques d'interférences analytiques soient les plus faibles possible.

Les longueurs d'onde d'excitation et d'émission des traceurs choisis sont les suivantes :

	Longueur d'onde d'excitation	Longueur d'onde d'émission	Seuil de détection*	Seuil de visibilité à l'œil nu **
Naphtionate	328 nm	420 nm	0,100 µg/l	entre 100 et 1000 µg/l
Jaune duasyn	449 nm	474 nm	0,075 µg/l	entre 1 et 10 µg/l
Uranine (fluorescéine)	486 nm	518 nm	0,020 µg/l	entre 0,1 et 1 µg/l

\* pour une eau optiquement pure

\*\* dans une fiole de 100 ml sur fond blanc

#### 6.3.2. Conditions d'injection

Les lieux d'injection et quantités de traceur utilisées sont les suivants :

Tableau 4 : Lieux d'injection Source : Rapport EDREE – Septembre 2017)

	Quantité	Date d'injection	Lieu d'injection (cf. annexe 1)	X (Lambert 93)	Y (Lambert 93)
Uranine	1 kg	17/08/17 à 14h07	Gouffre proche de la route	582 511	6 859 302
Jaune duasyn	0,6 litres (environ 0,2 kg)	24/08/17 à 13h30	Piézomètre (n°BSS 01808X0036)	582 322	6 859 310
Naphtionate	0,25 kg	24/08/17 à 13h45	Forage (n°BSS 01808X0037)	582 460	6 859 367

La localisation des points d'injection est présentée sur la figure ci-après.



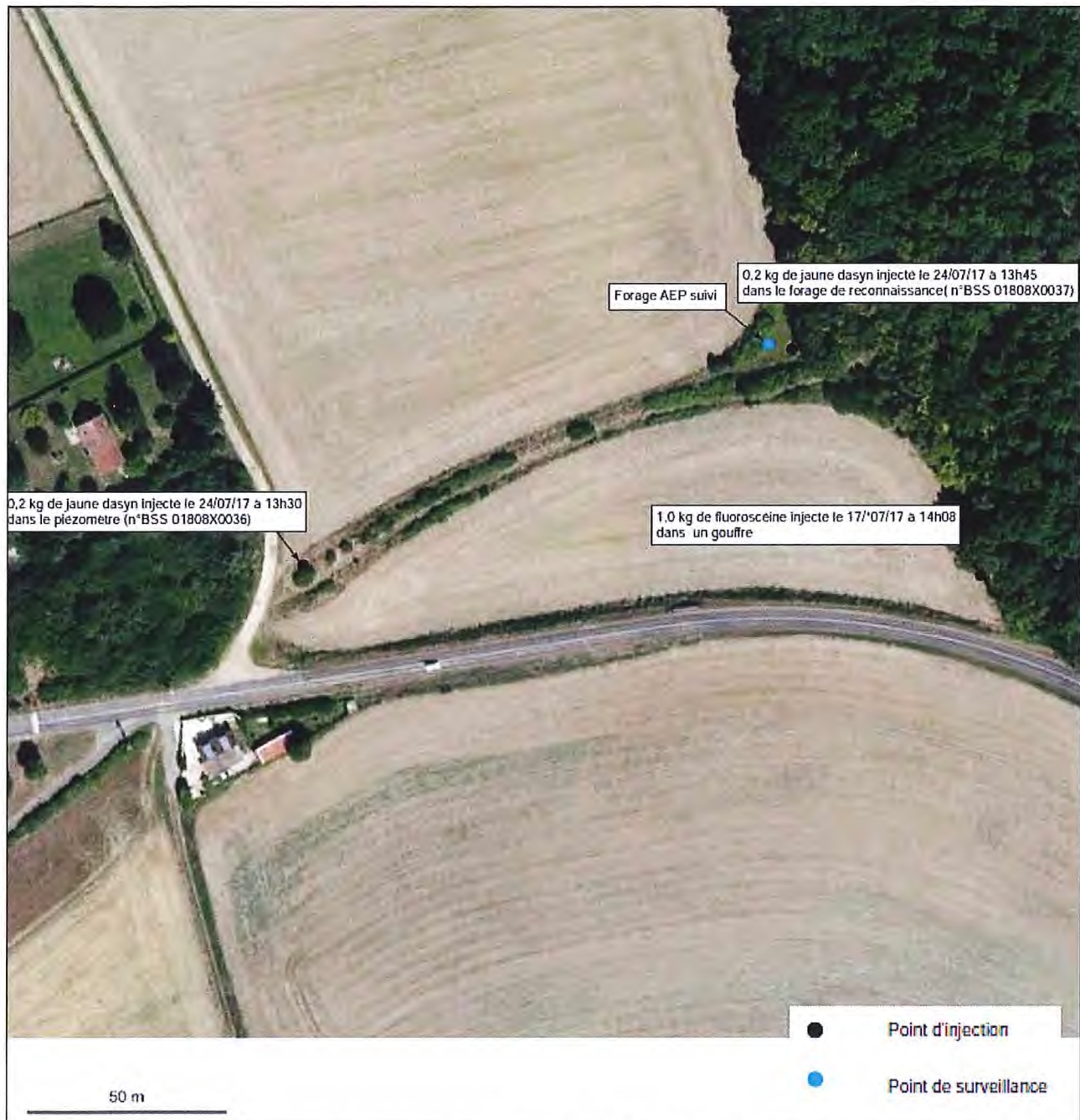


Figure 12 : Localisation des points d'injection et de surveillance Fe5 (Source : Rapport EDREE – Septembre 2017)

### 6.3.3. Dispositif et durée de surveillance

Le prélèvement des échantillons d'eau a été réalisé avec 3 préleveurs automatiques de marque ISCO déclenchés en cascade.

Les prélèvements étaient réalisés grâce à un robinet piquet sur les tuyaux de refoulement.

La cadence de prélèvement, durant tout le suivi a été d'un prélèvement par heure entre le 24 juillet 14h00 et le 27 juillet 14h00, soit au total 73 échantillons prélevés.

Des prélèvements manuels journaliers ont également été réalisés entre le 17 et le 24 juillet.



#### 6.3.4. Mode d'analyse pour la recherche des traceurs dans les échantillons prélevés

La recherche et le dosage des traceurs ont été effectués au laboratoire du bureau d'études EDREE à l'aide d'un spectrofluorimètre SAFAS FLX Xenius XC. Cet appareil est capable de détecter dans de l'eau pure les traceurs fluorescents à des valeurs de l'ordre de 20 ng/l à 100 ng/l suivant les traceurs.

Dans notre cas, la fluorescence naturelle (bruit de fond) s'est avérée très faible dans les longueurs d'onde d'émission utilisées pour doser les traceurs.

Les échantillons ont été laissés au repos plusieurs heures avant les dosages, afin de permettre la décantation des éventuelles matières en suspension. Celles-ci se sont avérées très peu abondantes.

#### 6.3.5. Résultats

Un seul des trois traceurs injectés a été récupéré (le naphthionate injecté dans le forage de reconnaissance Fe5).

Les courbes de restitution sont présentées ci-après :

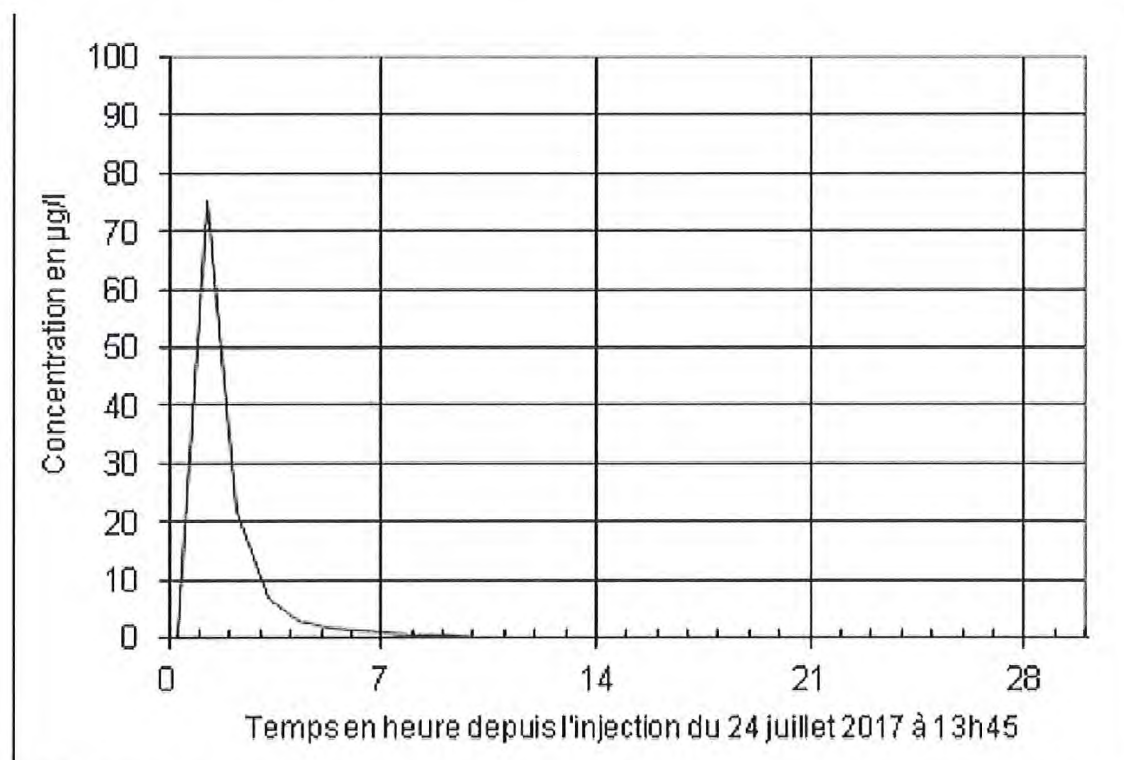


Figure 13 : Courbe de restitution du naphthionate en concentration (Source : Rapport EDREE – Septembre 2017)

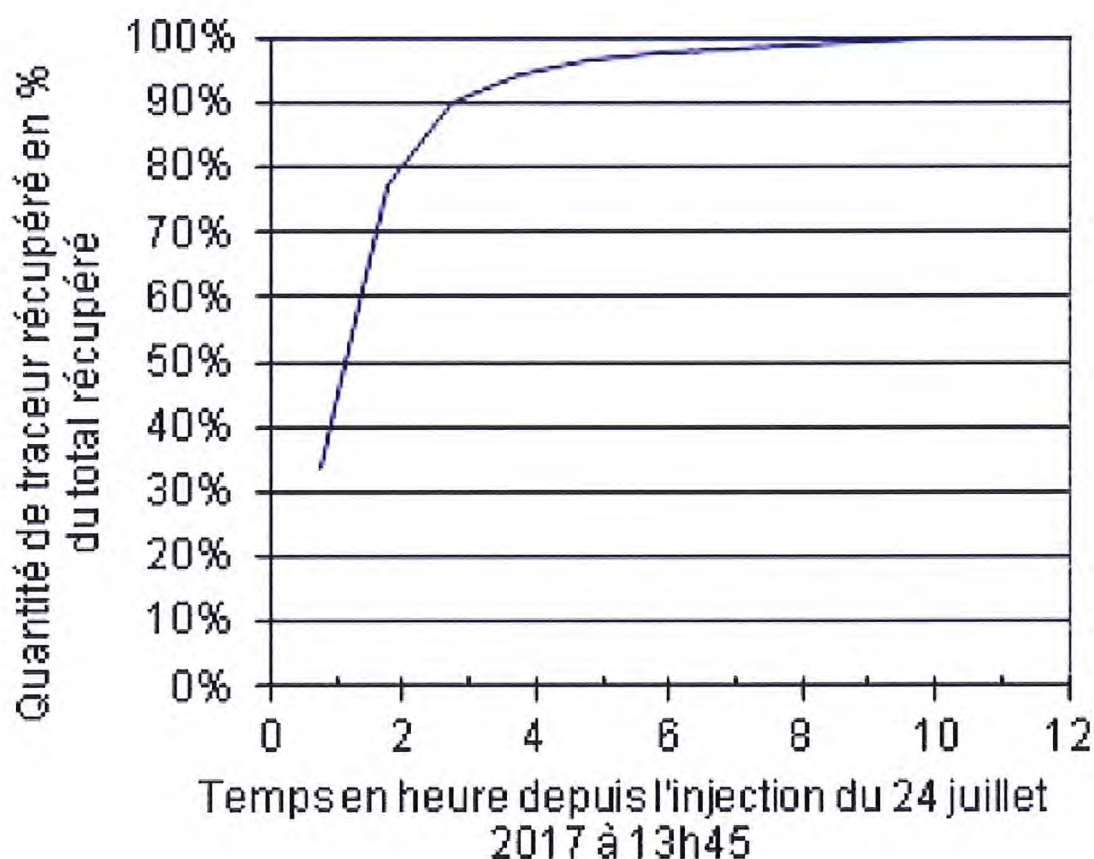


Figure 14 : Courbe de restitution du naphthionate en pourcentage (Source : Rapport EDREE – Septembre 2017)

Tableau 5 : Restitution du naphthionate (Source : Rapport EDREE – Septembre 2017)

Distance apparente	16 mètres
Masse injectée	250 g
Masse restituée	17 g
Taux de restitution	6,7 %
Temps d'apparition du traceur	1,25 heures *
Temps modal du traceur	1,25 heures
Temps moyen de séjour	6,8 heures
Temps de disparition	12,3 heures
Vitesse d'apparition apparente	8,0 m/h
Vitesse modale apparente	8,0 m/h
Vitesse de disparition apparente	0,8 m/h
Concentration maximale	75,4 µg/l

\*Le temps d'apparition réel est plus faible, compris entre 0,25 et 1,25 heure.



### 6.3.6. Conclusions

Sur les trois traceurs utilisés, seul le naphthionate injecté dans le point le plus proche (le forage de reconnaissance) a été récupéré et en très faible quantité malgré le débit de pompage important ( $150 \text{ m}^3/\text{h}$ ), mais très rapidement et très dilué.

Cela ne peut s'expliquer que par des vitesses d'écoulement naturel de la nappe très importantes.

Le cône de rabattement induit par le pompage n'influence pas les écoulements naturels de la nappe.

Les deux traceurs non récupérés (l'uranine injectée dans le gouffre et le jaune duasyn injecté dans le piézomètre) ont été injectés dans des zones qui n'appartiennent pas à la zone d'appel du forage (même en pompage continu).

Les traçages confirment la très grande karstification de l'aquifère exploité par le nouveau forage.

## 7. QUALITÉ DE L'EAU

---

### 7.1. Suivi des paramètres physico-chimiques durant les essais de pompage

Durant les essais de pompage, un suivi qualitatif a été réalisé sur les eaux du forage. Des mesures in situ ont été réalisées, ainsi que des prélèvements pour envoi au laboratoire (résultats en annexe 5).

Un prélèvement a été réalisé à l'issue de chaque palier et deux fois par jour pendant l'essai de longue durée.

La turbidité notamment a été particulièrement contrôlée. Il s'est avéré qu'elle reste dans des limites acceptables en dessous de  $150 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Tableau 6 : Synthèse des résultats du suivi qualitatif

Essai par paliers				Essai de longue durée							
Echantillon	FP1	FP2	FP3	FP4	FLD1	FLD2	FLD3	FLD4	FLD5	FLD6	Analyse 1ère adduction
Date du prélèvement	19/07/2017 à 9h55	19/07/2017 à 13h55	20/07/2017 à 9h25	20/07/2017 à 13h25	24/07/2017 à 18h05	25/07/2017 à 8h05	25/07/2017 à 16h05	26/07/2017 à 7h55	26/07/2017 à 18h05	27/07/2017 à 9h30	27/07/2017 à 14h00
Niveau dynamique (m/sol)	56,26	56,85	57,31	58,25	57,28	57,89	58,05	58,26	58,34	58,455	58,46
Débit de pompage	121	141	160	181	152	152	151	151	150	150	150
Analyses In situ	Température	13,1	13,2	13	13	12,9	13	12,9	13	13	14,1
	Turbidité (NTU)	1,24	1,58	3,12	14,02	2,2	4,62	3,36	3,02	3,02	-
	Conductivité (µS/cm)	682	682	682	681	680	679	680	679	679	-
	Couleur	Clair	Clair	Clair	Clair	Clair	Clair	Clair	Clair	Clair	Clair
	Aspect	Transparent	Transparent	Transparent	Transparent	Transparent	Transparent	Transparent	Transparent	Transparent	Transparent
Analyses au Laboratoire	Odeur	Pas d'odeur	Pas d'odeur	Pas d'odeur	Pas d'odeur	Pas d'odeur	Pas d'odeur	Pas d'odeur	Pas d'odeur	Pas d'odeur	Pas d'odeur
	MES	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
	Température	21,4	21,5	21,6	21,6	21,3	21,3	21,3	21,3	21,2	21
	pH	7,29	7,25	7,25	7,25	7,26	7,22	7,22	7,22	7,2	7,22
	Turbidité (NTU)	0,36	0,51	1,3	8,5	0,76	0,29	3,4	4	1,2	2,3
	Conductivité à 25°C (µS/cm)	677	671	672	668	670	667	667	668	673	662
	Nitrates (mg/l)	11,3	11,2	11,3	11,4	11	10,8	10,9	11	11	11
	Aluminium dissous (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	nm
	Fer dissous (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,010	0,01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
	Manganèse dissous (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,010	0,01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010



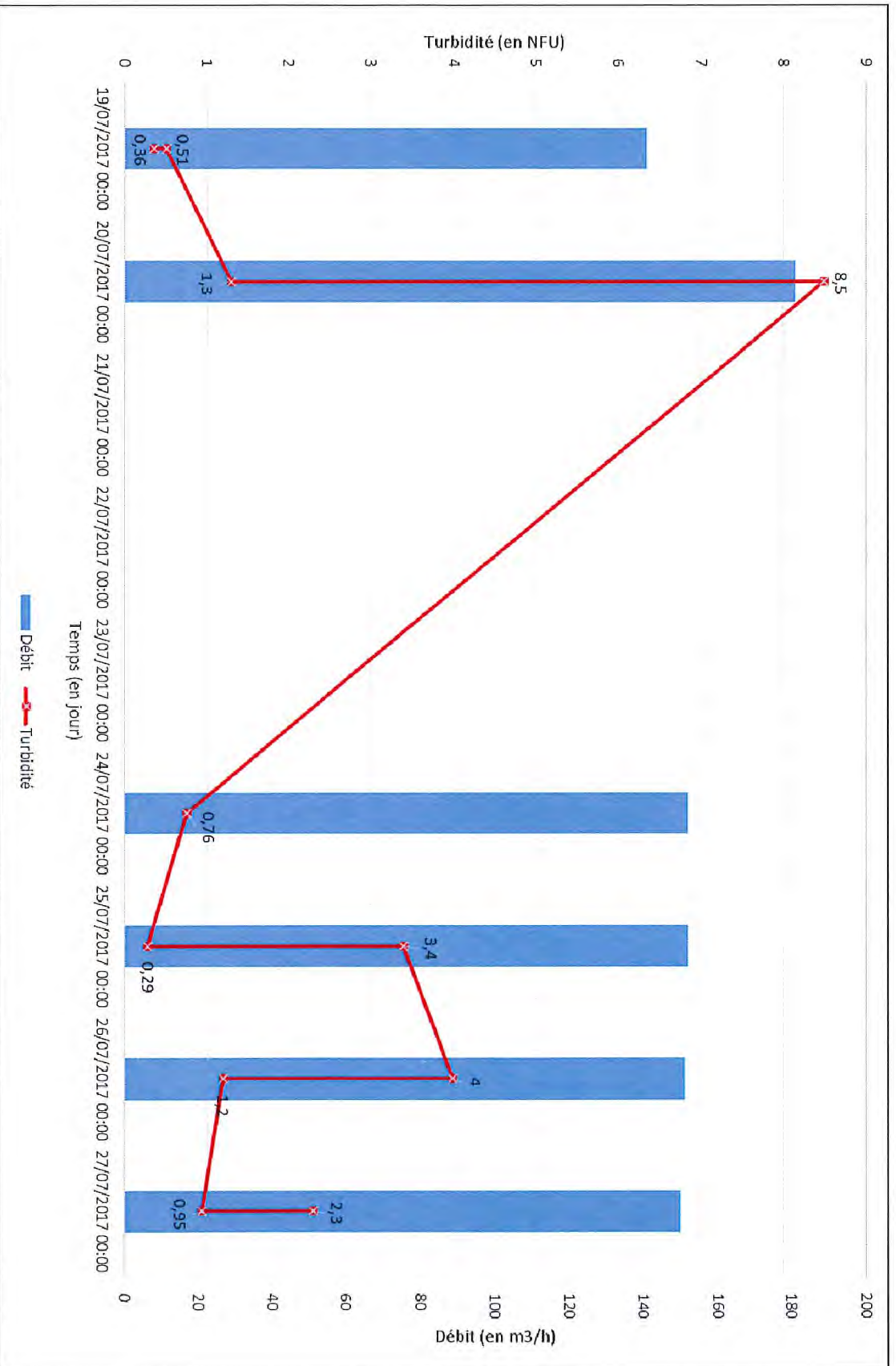


Figure 15 : Évolution de la turbidité et du débit en fonction du temps

## 7.2. Analyse de type première adduction

Un prélèvement d'eau a été réalisé par le laboratoire CARSO à l'issue de l'essai de pompage de longue durée (jeudi 27 juillet 2017 à 14h00). Les résultats sont présentés en annexe 6.

**Les résultats d'analyses d'eau brute sont conformes aux seuils** définis par l'annexe II (**seuils de production**) de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites de qualité des **eaux brutes** utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.

Paramètres	Unités	Valeurs mesurées sur le captage des Christophes (analyse du 27/07/2017)	Limites de qualité
<b>Paramètres organoleptiques</b>			
Couleur (Pt)	mg/l	<5	200
<b>Paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle des eaux</b>			
Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	22,6	200
Sodium (Na <sup>+</sup> )	mg/l	12,4	200
Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	8,7	250
Température	°C	14,1	25
<b>Paramètres concernant les substances indésirables</b>			
Agents de surface réagissant au bleu de méthylène (lauryl-sulfate de sodium)	mg/l	<0,05	0,5
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/l	<0,05	4
Baryum (Ba) pour les eaux superficielles	mg/l	0,018	1
Carbone organique total (COT)	mg/l	0,3	10
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés	mg/l	<0,1	1
Nitrates pour les autres eaux (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	11	100
Phénols (indice phénol) (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	mg/l	<0,05	0,1
Zinc (Zn)	mg/l	<0,010	5
<b>Paramètres concernant les substances toxiques</b>			
Arsenic (As)	µg/L	<2	100
Cadmium (Cd)	µg/L	<1	5
Chrome total (Cr)	µg/L	nm	50
Cyanures (CN <sup>-</sup> )	µg/L	<0,010	50
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : Somme des composés suivants : fluoranthène, benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[a]pyrène, benzo[g,h,i]pérylène et indéno[1,2,3-cd]pyrène	µg/L	<LQ	1
Mercure (Hg)	µg/L	<0,01	1
Plomb (Pb)	µg/L	nm	50
Sélénium (Se)	µg/L	4	10
Pesticides ( Par substances individuelles, y compris les métabolites)	µg/L	<LQ	2
<b>Paramètres microbiologiques</b>			
Entérocoques	UFC/100 ml	<1	10 000
Escherichia coli	UFC/100 ml	<1	20 000
nm : Non mesuré			

**Les résultats d'analyses d'eau brute sont également conformes aux seuils** définis par l'annexe I (**seuils de distribution**) de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité **des eaux destinées à la consommation humaine**, à l'exception de la turbidité (valeur de 2,3 NFU). Le tableau ci-dessous met en regard les teneurs de l'eau brute avec ces seuils de distribution.



Paramètres	Unités	Valeurs mesurées sur le captage des Christophes (analyse du 27/07/2017)	Limites et références de qualité
<b>Caractéristiques organoleptiques</b>			
Aspect	-	0	Acceptable pour le consommateur
Couleur	-	<5	Acceptable pour le consommateur
Odeur	-	0	Acceptable pour le consommateur
<b>Paramètres microbiologiques</b>			
Escherichia coli	UFC/100 ml	<1	0
Entérocoques	UFC/100 ml	<1	0
<b>physico-chimie de base</b>			
Carbone organique total	mg/L	0,3	2
Conductivité à 25 °C	µS/cm	662	entre 200 et 1100
Cyanures totaux	µg/l	<0,010	50
Équilibre calco-carbonique (1 à 4)	-	2	A l'équilibre ou légèrement incrustantes
Fluorures	mg/L		1,5
pH	-	7,2	compris entre 6.5 et 9
Température	°C	14,1	25
Turbidité	NFU	2,3	1
<b>Cations</b>			
Ammonium	mg/L	<0,05	0,1
Sodium	mg/L	12,4	200
<b>Anions</b>			
Chlore libre et total	-	<0,03	Absence d'odeur ou de saveur désagréable
Chlorures	mg/L	22,6	250
Nitrates (NO3)	mg/L	11	50
Nitrites (NO2)	mg/L	<0,02	0,5
Sulfates	mg/L	8,7	250
<b>Pesticides</b>			
Acrylamide	µg/l	< LQ	0,1
Atrazine	µg/l	<0,030	0,1
Déséthyl-atrazine	µg/l	<0,030	0,5
Aldrine, Dieldrine, heptachlore, heptachlorépoxyde (par substance)	µg/l	<LQ	0,03
Somme des pesticides	µg/l	<0,5	0,5
<b>Métaux</b>			
Antimoine	µg/l	<1	5
Arsenic	µg/l	<2	10
Baryum	mg/L	0,018	0,7
Bore	mg/L	0,02	1
Cadmium	µg/l	<1	5
Fer dissous	µg/l	<10	-
Fer total	µg/l	34	200
Manganèse	µg/l	<10	50
Mercuré	µg/l	<0,01	1
Nickel	µg/l	<5	20
Sélénium	µg/l	4	10

Paramètres	Unités	Valeurs mesurées sur le captage des Christophes (analyse du 27/07/2017)	Limites et références de qualité
<b>Composés organiques</b>			
Benzène	µg/l	<0,5	1
Chlorure de vinyle	µg/l	<0,5	0,5
1,2-dichloroéthane	µg/l	<0,5	3
Epichlorhydrine	µg/l	<LQ	0,1
Tétrachloroéthylène et trichloroéthylène	µg/l	<0,5	10
Benzo[a]pyrène	µg/l	<0,5	0,01
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	µg/l	<LQ	0,1
<b>Radioactivité</b>			
Activité alpha globale	Bq/l	<0,04	En cas de valeur supérieure à 0.10, il est procédé à l'analyse des radionucléides spécifiques définis dans l'arrêté mentionné à l'article R.1321-20
Activité bêta globale résiduelle	Bq/l	<0,06	En cas de valeur supérieure à 1.0, il est procédé à l'analyse des radionucléides spécifiques définis dans l'arrêté mentionné à l'article R.1321-20
Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	<0,1	0,1
Tritium	Bq/l	<8	100

nm : Non mesuré



## 8. OPÉRATIONS DE RÉCEPTION

### 8.1. Test de verticalité

À la demande de la Maîtrise d'œuvre, un test de verticalité a été réalisé par la SARL Geo Hydro Investigation le 28 février 2017 sur le forage des Christophes. Le rapport est intégralement présenté en annexe 7.

La mesure de verticalité pour contrôler l'inclinaison de l'ouvrage s'est effectuée de -1,4 m à -79,6 m de profondeur soit 78,1 m d'investigation.

Les résultats suivants sont issus du rapport d'intervention de la SARL GHI :

Du fait du diamètre conséquent du tubage, les mesures ont été effectuées au droit de 4 matrices verticales espacées chacune de 90°, soit aux quatre points cardinaux. Les mesures réalisées apportent les informations suivantes :

- L'inclinaison de la mesure Nord de cet ouvrage ne dépasse pas 0,92° localement et est en moyenne de 0,18° correspondant à un déport du forage de 0,25 m pour une profondeur de 80 m ;
- L'inclinaison de la mesure Est de cet ouvrage ne dépasse pas 0,5° localement et est en moyenne de 0,24° correspondant à un déport du forage de 0,33 m pour une profondeur d'environ 80 m ;
- L'inclinaison de la mesure Sud de cet ouvrage ne dépasse pas 1,44° localement et est en moyenne de 0,29° correspondant à un déport du forage de 0,40 m pour une profondeur d'environ 80 m ;
- L'inclinaison de la mesure Ouest de cet ouvrage ne dépasse pas 1,60° localement et est en moyenne de 0,38° correspondant à un déport du forage de 0,52 m pour une profondeur d'environ 80 m.
- On constate une légère inclinaison de l'ouvrage vers le Nord-Est.

La diagraphie correspondante est présentée en Figure 16.

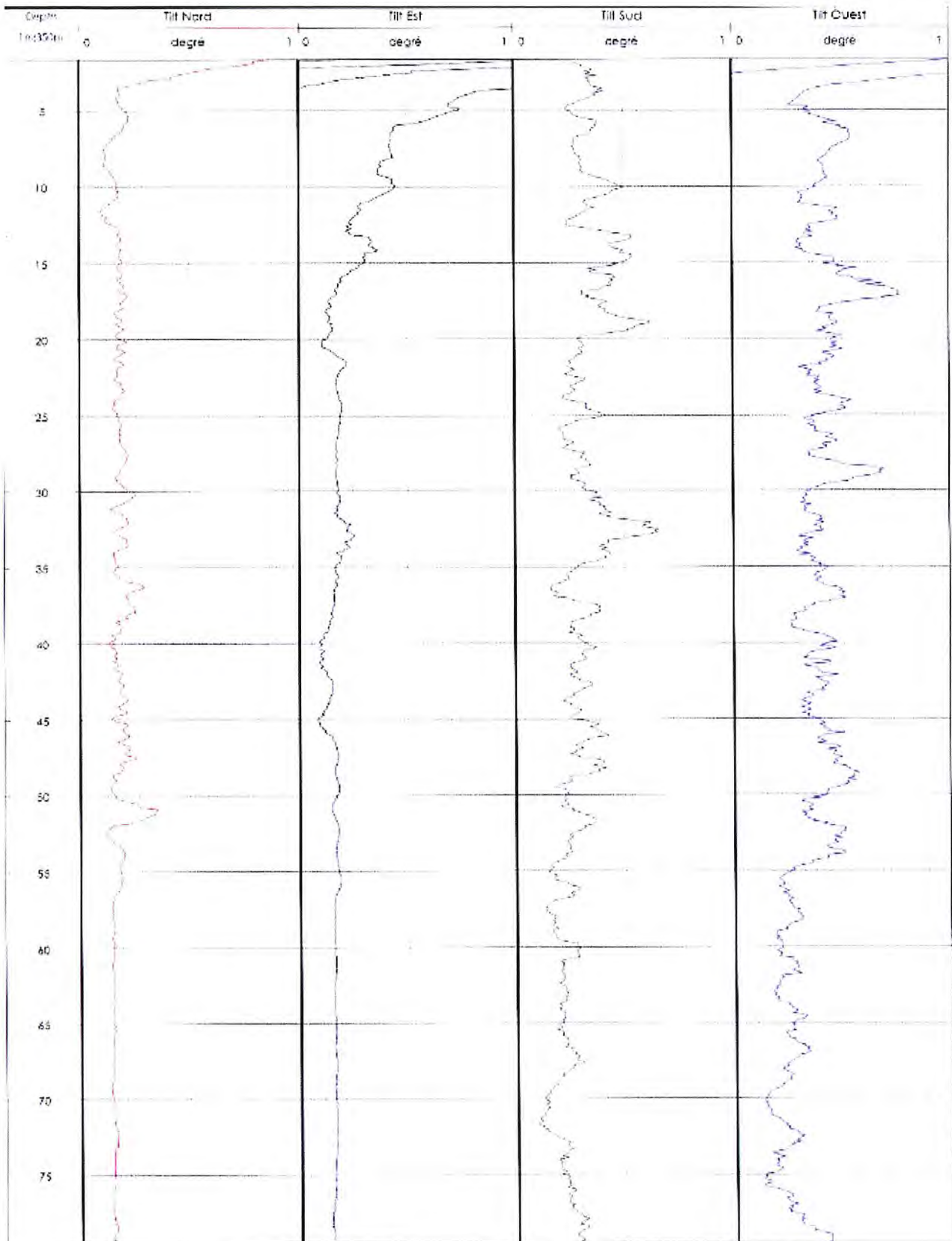


Figure 16 : Contrôle de la verticalité (source : GHI – Mars 2017)



## 8.2. Inspection télévisée

L'inspection télévisée a eu lieu le 4 septembre 2017. Elle a été réalisée dans le tubage en inox de diamètre 558 mm entre 0 et 73,88 m puis 273 mm entre 73,88 et 95,5 m de profondeur.

Elle a permis de mettre en évidence la mise en œuvre de l'ouvrage dans les règles de l'art et d'identifier les cotes des éléments constitutifs de l'ouvrage.

Le compte-rendu complet est présenté dans le rapport de GHI en annexe 8.

Le repère de mesure est constitué du sommet du tubage en inox situé à + 0,48 m/TN.

Le niveau hydrostatique a été repéré à 54,5 m/repère soit 54,02 m/sol. L'eau est très peu turbide.

La coupe technique réalisée d'après l'inspection télévisée est la suivante :

Profondeur en m/repère	Profondeur en m/sol	Coupe technique d'après inspection télévisée
0 à 74,4 m	0 à 73,9 m	Tubage acier inox plein
74,4 m	73,9 m	Réduction de diamètre
74,4 à 81 m	73,9 à 80,5 m	Tubage acier inox plein
81 à 93,1 m	80,5 à 92,6 m	Tubage acier inox crépiné – fil enroulé
93,1 à 96,1 m	92,6 à 95,6 m	Tubage acier inox plein
96,1 m	95,6 m	Fin de l'inspection télévisée

Cette coupe est conforme à la coupe technique demandée à l'entreprise MASSE.

Les observations suivantes ont été rapportées :

- Tubage inox 558 mm :
  - bon état, tant du tubage que des soudures inter-tubages ;
  - observation de « points de chauffe » sur la paroi, correspondant à la présence de centreurs dans l'espace annulaire ;
  - traces de frottement au droit de la paroi à -62,35 m/repère ;
  - à partir de -70 m/repère, présence de ciment, projeté dans la colonne captante sous forme de concrétions.
- Tubage inox 273 mm :
  - Réduction observée à 74,4 m/repère ;
  - Bon état général, tant du tubage que des soudures ;
  - Tubage crépiné entre 81 et 93,1 m/repère, massif filtrant observé au droit des ouvertures ;
  - Tube décanteur propre.
- Eau assez claire, peu de matières en suspension, sauf au niveau de la réduction.

Un reportage photographique est proposé dans le rapport de GHI présenté intégralement en annexe 8.

### 8.3. Diagraphie Gamma Ray

Cette diagraphie a été réalisée par la société GHI, le rapport intégral est présenté en annexe 8. Les éléments suivants en sont extraits.

La sonde de gamma-ray mesure la radioactivité naturelle existante dans certaines roches. Elle permet la discrimination des différents ensembles lithologiques caractéristiques.

Le contexte géologique étant sédimentaire, la variation de radioactivité naturelle mesurée est donc principalement liée au potassium contenu dans les argiles.

Les mesures réalisées apportent les informations suivantes :

- D'une manière générale, le nombre de coups mesurés est faible (inférieur à 30 cps), ce qui traduit une faible teneur en argiles dans les terrains traversés.
- Les mesures en tête de forage apparaissent non cohérentes avec l'existence d'une couverture d'alluvions en surface. Deux facteurs permettent d'expliquer ces observations :
  - Le tubage acier inox cimenté et le tubage acier inox télescopé en son centre atténuent et perturbent fortement la réponse du terrain de 0 à 95,6 m/sol ;
  - La présence de formations carbonatées. Cette dernière hypothèse est avérée par les observations de terrain réalisées lors de la foration.
- Cinq ensembles se détachent sur le graphique :
  - De 0 à 11 m : signal relativement faible (5 à 12 cps) : matériaux peu argileux. On note la présence d'un signal plus fort en tête correspondant aux terrains superficiels plus riches en argiles ;
  - De 11 à 45 m : signal relativement fort (10 à 20 cps) : matériaux plus argileux ;
  - De 45 à 55 m : signal plus faible (6 à 15 cps) : matériaux peu argileux ;
  - De 55 à 65 m : signal faible (5 à 12 cps) : matériaux moins argileux ;
  - De 65 à 96 m : signal très faible (2 à 10 cps) : matériaux sans argiles.

**Ces données correspondent aux observations réalisées lors de la foration qui indiquaient peu d'argiles dans les cuttings.**



#### **8.4. Localisation des venues d'eau au micromoulinet**

Une diagraphie au micromoulinet a été réalisée afin de localiser les venues d'eau par la société GHI. Le rapport d'intervention intégral est présenté en annexe 8.

Le niveau repère a été pris au sommet du tubage inox (+0,48 m/sol).

L'acquisition s'est effectuée de -80 à -96 m par rapport au repère soit 16 m d'investigation.

La mesure a été réalisée en pompage :

- Pompe de 8 pouces disposée à - 60,5 m ;
- Débit de 100 m<sup>3</sup>/h ;
- Niveau statique : 53,86 m/sol
- Niveau dynamique stabilisé : 55,17 m/sol.

Les résultats suivants sont extraits du rapport d'intervention :

- Les venues d'eau sont réparties de manière non homogène ;
  - Une arrivée d'eau principale est observée entre -80,5 et -83,9 m/sol avec 90% des arrivées d'eau cumulées ;
  - Trois arrivées d'eau secondaires aux profondeurs suivantes :
    - 3% des arrivées cumulées entre -83,9 et -85 m/sol ;
    - 4% des arrivées cumulées entre -86,7 et 88,4 m/sol ;
    - 3% des arrivées cumulées entre -91,1 et 92,6 m/sol.
  - Aucune arrivée d'eau n'est observée après 92,6 m/sol.

**Ces résultats confirment les observations réalisées lors de la réalisation de l'ouvrage (nécessité d'injecter 17 m<sup>3</sup> de gravier).**

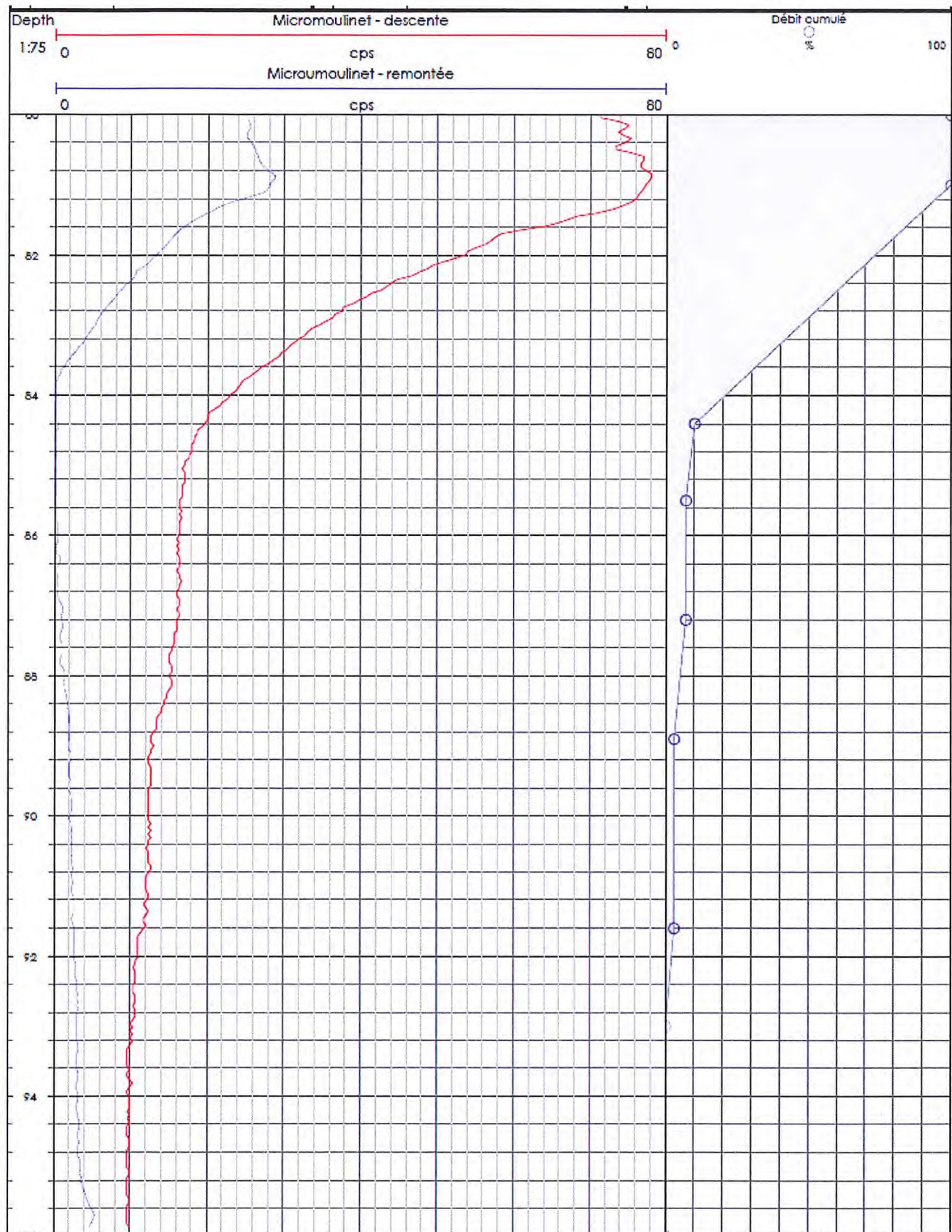


Figure 17 : Diagramme au micromoulinet (source : GHI – Septembre 2017)



## 8.5. Contrôle de cimentation

Le contrôle de cimentation a été réalisé les 4 et 5 septembre 2017, au moyen de deux techniques :

- Une diagraphie Gamma-Gamma pour le contrôle de la cimentation réalisée par la société SEMM LOGGING ;
- Une diagraphie CBL pour le contrôle de la qualité de la cimentation annulaire, réalisée par la société GHI.

Les données suivantes sont issues du rapport d'intervention de GHI (intégralement présenté en annexe 8).

### 8.5.1. *Diagraphie Gamma-Gamma*

Le niveau repère a été pris au sommet du tubage inox plein (+0,48 m/sol). L'acquisition s'est effectuée de -2,77 à -66 m. Trois génératrices ont été analysées.

Les résultats sont les suivants :

- Entre la surface et 57 m, la cimentation est considérée comme bonne ;
- Entre 57,14 et 57,6 m, on observe une lacune de cimentation décelée sur une seule des trois génératrices effectuées ;
- Entre 58,61 et 60,39 m, la cimentation est de moins bonne qualité ;
- Entre 62,87 et 65,47 m, une lacune observée sur les trois génératrices témoigne également d'une cimentation de moins bonne qualité.

### 8.5.2. *Diagraphie CBL*

Cette mesure est basée sur la propagation d'une onde acoustique haute fréquence à travers l'eau, le tubage, le ciment et la formation. Elle permet d'appréhender la qualité de la cimentation, c'est-à-dire la qualité du comblement par le ciment de l'espace annulaire existant entre le tubage et la formation. Un ciment parfaitement adhérent à la fois au tubage et à la formation ne perturbera pas la vitesse de propagation des ondes de compression transitant dans ces milieux. À l'inverse, un tubage libre ou une cimentation non continue entre le tubage et la formation va perturber la vitesse de propagation et augmenter l'amplitude de ces ondes.

Le niveau repère a été pris au sommet du tubage en inox plein (+0,48 m/sol) et la mesure a été effectuée à partir du niveau statique (56,4 m/sol) jusqu'au fond de l'ouvrage.

Les résultats sont les suivants :

- De 56,4 à 61 m : cimentation d'assez bonne qualité ;
- De 61 à 70 m : cimentation de moins bonne qualité ;
- De 70 à 74,1 m : cimentation de qualité très moyenne.

L'amplitude de la première oscillation précédemment pointée est présentée sur le log amplitude sur une gamme comprise entre 0 et 100 mV. On constate que la qualité de cimentation est globalement hétérogène et de moins en moins bonne à cause de l'augmentation des amplitudes mesurées. Celles-ci sont comprises entre 20 et 80 mV.

### 8.5.3. Conclusions

La cimentation, réalisée entre 0 et 79,60 m de profondeur, à l'extrados du tube de diamètre 558 mm, a été contrôlée au moyen de deux techniques :

- Gamma Gamma pour la partie hors eau
- CBL pour la partie en eau.

La cimentation est globalement de bonne qualité, avec des passes de qualité moyenne, observées aux profondeurs suivantes :

- Entre 58,61 et 60,39 m de profondeur ;
- Entre 62,87 et 65,47 m de profondeur ;
- Entre 70 et 74,1 m de profondeur.

Ces passes de moins bonne qualité s'expliquent par le caractère karstique de l'aquifère qui a entraîné de nombreuses pertes lors de la cimentation.

Cependant, du fait de l'absence de nappe superficielle et de la profondeur du niveau statique, cette qualité moyenne par endroits n'est pas problématique pour la protection de l'aquifère.



## 9. CONCLUSION

Le forage d'exploitation des Christophes a été réalisé en 2017 à une profondeur de 95,5 m. Il capte les eaux circulant dans l'aquifère de la craie sénonienne.

Les travaux ont été réalisés conformément au cahier des charges, excepté pour la profondeur, qui a été légèrement diminuée (95,5 m au lieu de 100 m) suite aux difficultés de foration rencontrées à partir de 84 m, et qui ont nécessité de recourir à un tubage à l'avancement.

La géologie reconnue au droit de l'ouvrage est la suivante :

- De 0 à 3 m : Argile de décalcification ;
- De 3 à 81 m : Craie du Sénonien ;
- De 81 à 95,5 m : Craie du Sénonien avec paléokarst.

La coupe technique de l'ouvrage est la suivante :

- Foration en Ø 1000 mm (39''3/8) de -0 à -10 m
  - Pose d'un tube technique en Ø 711 mm en acier entre 0 et 10 m avec cimentation à l'extrados ;
- Foration en Ø 660 mm (26'') de -5 à -79,60 m,
  - Mise en place d'un tube INOX AISI 304 Ø 558 mm (22'') de +1 m à -79,30 m ;
  - Cimentation sous pression de l'espace annulaire.
  - Deux centreurs en INOX ont préalablement installés pour la pose du tubage en diamètre 558 mm, aux profondeurs de 5 et 73 m de profondeur.
- Foration en Ø 445 mm (17''1/2'') de -79,60 à -95,5 m,
  - Mise en place d'un tube INOX AISI 304 Ø 273mm :
    - Plein de -73,88 à -80,38 m/sol,
    - Crépiné de -80,38 à -92,38 m/sol (fil enroulé, avec un slot de 1 mm),
    - Plein de -92,38 à -95,38 m/sol (décanteur).
  - Mise en place d'un massif de gravier de calibre 2/5 mm ou équivalent, de -79 ;6 m jusqu'au fond de l'ouvrage.
  - Deux centreurs en inox ont été mis en place à 80 m et à 94 m de profondeur environ.

En raison de la présence d'un paléokarst entre 80 et 84 m, la quantité de gravier mis en place a été plus importante que prévu. Ainsi, 21 tonnes de gravier 2/4 puis 2,4 tonnes de gravier 4/8 soit 17 m<sup>3</sup> au total ont été mises en place.

Les essais de pompage par paliers, menés les 19 et 20 juillet ont montré la bonne conception du forage (faibles pertes de charges quadratiques). Le débit critique est situé aux environs de 150 m<sup>3</sup>/h.

L'essai de pompage de longue durée a été mené à 150 m<sup>3</sup>/h du 24 au 27 juillet. Il a permis de déterminer les paramètres hydrodynamiques de la nappe :

- $T = 7,7.10^{-3}$  à  $1,3.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s ;
- $S = 1,1$  à  $5,5.10^{-3}$ .

Durant l'essai de longue durée, il a été réalisé un essai de traçage afin de mesurer les temps de transfert, en cas de pollution sur la route départementale proche d'une part et entre les piézomètres et l'ouvrage d'autre part. Il en ressort que le seul traceur retrouvé dans le forage dès une heure après l'injection est le naphthionate injecté sur le forage d'essai Fe5. Sa vitesse d'apparition apparente est de 8 m/h.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau ont été suivis tout au long des essais de pompage de manière à évoluer l'impact de l'augmentation du débit sur la turbidité. Il est apparu qu'au-delà de 150 m<sup>3</sup>/h, la turbidité augmente de façon importante.

Les opérations de réception ont mis en évidence les éléments suivants :

- Une verticalité correcte de l'ouvrage ;
- Une coupe technique conforme au cahier des charges et un bon état de l'équipement (inspection video) ;
- Une cimentation de qualité moyenne à certaines profondeurs en raison du caractère karstique de l'aquifère (CBL et Gamma Gamma). En l'absence de nappe superficielle, cela n'est cependant pas problématique.
- Le Gamma-Ray confirme les faibles teneurs en matériaux argileux dans les terrains naturels, observation déjà faite lors de l'analyse des cuttings en foration.