

0487 2x0057

Commune
d'Azay-le-Rideau

S13DRE019

VERSION 1

OCTOBRE 2014

mms

Réalisation d'un forage au Turonien à Azay-le-Rideau (37)

Compte-rendu de fin de travaux de forage


SAFEGE
Ingénieurs Conseils

AGENCE de TOURS – 7/9 rue du Luxembourg – BP 37167 – 37071 TOURS CEDEX 02
DÉLÉGATION RESSOURCES ET MILIEUX AQUATIQUES – Unité Ressources en Eau

SIÈGE SOCIAL
PARC DE L'ÎLE – 15/27 RUE DU PORT
92022 NANTERRE CEDEX

PRÉAMBULE

Dans le cadre de la sécurisation de l'alimentation en eau potable et de la diminution des prélèvements sur la nappe du Cénomanién, la commune d'Azay-le-Rideau a engagé les travaux d'un forage de reconnaissance en 2010.

Le forage de reconnaissance a été implanté au sein du périmètre de protection immédiate de la station de la Couture à Azay-le-Rideau.

Les travaux ont été exécutés par l'entreprise Van Ingen (37).

A l'issue de cette phase de reconnaissance, les résultats des pompages d'essai ont mis en évidence un débit exploitable de l'ordre de 20 m³/h. La qualité de la ressource en eau captée est conforme aux limites de qualité fixée par l'arrêté du 11 janvier 2007 exceptée pour le nickel. Les concentrations en fer et manganèse sont également très proches des valeurs limites.

Initialement prévu pour être transformé en forage définitif, le forage de reconnaissance a été mis en sécurité et conservé en tant que piézomètre de surveillance.

En 2013, la commune d'Azay-le-Rideau a décidé de faire réaliser un forage définitif au sein du site AEP de la Couture.

Les travaux ont été confiés à l'entreprise SADE située à Chambray-les-Tours (37)

Le présent document constitue le compte-rendu de fin de travaux de forage.

	N° DE VERSION	ÉTABLI PAR :	VÉRIFIÉ PAR :	APPROUVÉ PAR :
11/03/2014	1	Nicolas MARIETTE	Thierry GAILLARD	Thierry GAILLARD

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 2-1: Localisation du forage définitif.....	4
Figure 4-1 : interprétation de la diagraphie gamma naturel.....	10
Figure 4-2 : coupe géologique et technique du forage d'Azay le Rideau	12
Figure 4-3 : localisation des arrivées d'eau.....	13
Figure 5-1: Évolution du niveau piézométrique - essai par paliers	15
Figure 5-2: Comparaison des courbes caractéristiques - essai par paliers.....	15
Figure 5-3: Interprétation des coefficients de l'équation de la courbe caractéristiques	16
Figure 5-4 : graphe d'interprétation $s=f(\sqrt{t})$	18
Figure 5-5: Évolution du niveau piézométrique pendant l'essai continu	19
Figure 5-6: Interprétation pompage continu – Theis (déf)	20
Figure 5-7: Interprétation pompage continu – Theis (reco).....	21
Figure 5-8: Interprétation pompage continu – Gringarten -Ramey	22
Figure 5-8: Courbe de descente sur le forage de reconnaissance (essai de 2010)	23
Tableau 4-1 : descriptions des cuttings.....	9
Tableau 4-2 : calage stratigraphique.....	11
Tableau 5-1 : essais de pompage réalisés	14
Tableau 5-2 : résultats des paliers de pompage	16
Tableau 5-3 : remontée du niveau piézométrique.....	18

TABLE DES MATIÈRES

1 Fiche synthétique	1
2 Localisation de l'ouvrage	3
3 Compte-rendu des travaux	5
4 Description de l'ouvrage.....	8
4.1 Coupe géologique.....	8
4.2 Coupe technique	12
4.3 Diagraphie de flux	13
5 Pompages d'essai.....	14
5.1 Essai par paliers.....	14
5.2 Essai de longue durée	17
5.3 Comparatif avec l'essai de 2010	23
5.4 Suivi de la turbidité	23
6 Qualité de la ressource en eau	25
7 Opérations de contrôle – Opérations préalables à la réception.....	30
7.1 Examen visuel par passage caméra	30
7.2 Contrôle de la verticalité	30
8 Perspectives d'exploitation.....	31
8.1 Proposition d'un débit d'exploitation	31
8.2 Essais préalable à la mise en service	34

F 3AL Centre
19 JUL. 2013
Courrier Arrivé SEEVAC

Un WWZ

Réserve à l'Administration

DECLARATION DE SONDAGE, OUVRAGE SOUTERRAIN OU TRAVAIL DE FOUILLE
(Article 131 du Code Minier)

MAITRE D'OUVRAGE ou
MAITRE D'ŒUVRE (1)

NOM, Prénom
(ou raison sociale)
Adresse
TEL 02 47 45 42 11

ENTREPRENEUR

NOM, Prénom
(ou raison sociale)
Adresse
TEL 02 47 28 85 24

TRAVAUX

Nature : puit - forage (2)
Objet (3)
Emplacement : Commune / département
Rue et n° (ou lieu-dit)
Date de début des travaux
S'il s'agit d'un ouvrage de prélèvement d'eau (4)
Durée probable
Q = 30 m³/h

DIVERS

Date d'envoi de la déclaration en Préfecture (si le débit est > à 8 m³/h et < 80 m³/h)(5)
Date d'envoi de la demande d'autorisation en préfecture (si le débit est • 80 m³/h)(6)
(article 10 de la Loi n°923 du 03/01/1992 et Décrets n°93.742 et n°93.743 du 29/03/1993)

Le déclarant est (2) : le Maître d'ouvrage - le Maître d'œuvre - l'Entrepreneur Date et signature (6)

- (1) Personne pour le compte de laquelle le travail est exécuté.
- (2) Biffer la mention inutile ou compléter s'il y a lieu.
- (3) Recherche ou exploitation (substances à préciser, géothermie, ...) ; reconnaissance (sol, fondations, ...).
- (4) Préciser le débit (Q) horaire escompté sur la base des données disponibles.
- (5) Les déclarations doivent être adressées au Préfet un mois avant le début des travaux.
- (6) La demande d'autorisation nécessite un délai d'instruction de 6 à 8 mois.

NOTA : une déclaration détaillée pourra vous être demandée sur ces travaux.

19072013
sade
ZI de St-Avertin - BP 90134
37171 CHAMBRAY-LES-TOURS CEDEX
Tél. 02 47 28 25 24 - Fax 02 47 28 26 40

201337033

7500x2x840

04872X0057

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 Rapport de fin de travaux de forage (SADE, 2014)

Annexe 2 Rapport d'analyse (Laboratoire 37, décembre 2013)

04872x0657

Azay-le-Rideau

Compte-rendu de fin de travaux de forage

Réalisation d'un forage au Turonien à Azay-le-Rideau (37)

1

Fiche synthétique

Identification					
Nom du forage :		Couture		N°BSS :	En attente
Lieu : Azay-le-Rideau					
Coordonnées Lambert II étendu :		X = 458 245 m	Y = 2 253 792 m	Z = 98 (±1) m NGF	
Section la parcelle :		AZ	Numéro de parcelle :		627
Maître d'Ouvrage :		Commune d'Azay le Rideau			
Maître d'Œuvre :		SAFEGE – Agence de Tours – Ressources en eau (37)			
Entreprise de travaux :		SADE (37)			
Caractéristiques de l'ouvrage					
Date de début et fin des travaux :		17.07.2013 au 18.10.2013			
Repère de mesure :		Haut tubage acier	Nivellement repère :		+0,5 m/sol
Profondeur totale du forage :		89,5 m/repère – 89 m/ Terrain naturel			
FORAGE	De (m)	À (m)	Diamètre (mm)	Mode de foration	
Avant-trou	0	15	559	Rotary – Circ. Inv.	
Avant-puits	15	46.5	508	Rotary – Circ. Inv.	
Réservoir	46.5	85	375	Rotary – Circ. Inv.	
TUBAGE	De (m)	À (m)	Diamètre (mm)	Tube plein / crépiné	Matériau
	0	46.5	406	TP	INOX304
	43	48	219	TP	INOX304
	48	83	219	TC – Fils enroulés	INOX304
	83	85	219	TP	INOX304
COMBLEMENT ESPACE ANNULAIRE	De (m)	À (m)	Extrados tubage de diamètre (mm)	Mode de pose	
CIMENTATION	0	20	406	Gravitaire	
CIMENTATION	20	46.5	406	Sous pression	
GRAVIERS	43	85	219	Gravitaire	
Aquifère capté :		Tuffeau jaune + craie micacée (Turonien)			

04872x0057

Azay-le-Rideau

Compte-rendu de fin de travaux de forage

Réalisation d'un forage au Turonien à Azay-le-Rideau (37)

Développement / Traitement :														
Mode de développement : Air-lift			<input checked="" type="checkbox"/>		Générateur d'onde			<input checked="" type="checkbox"/>						
Pompe immergée			<input checked="" type="checkbox"/>		Autre :			<input type="checkbox"/>						
Traitement : Hexamétaphosphates de sodium :			<input type="checkbox"/>											
Acidification :			<input checked="" type="checkbox"/>		1,5 m ³ HCl									
Autre :			<input type="checkbox"/>											
Essais hydrogéologiques :														
Niveau statique avant essai :			44.7 m/rep			Le 11/10/2013 10h30								
Pompages d'essai :			Pompage par paliers :			<input checked="" type="checkbox"/>		20	25	30	35	38	m3/h	
			Pompage de longue durée :			<input checked="" type="checkbox"/>		Débit :		23.5 m3/h				
								Durée :		72 h				
								Date fin :		14/10/2013				
								Niv. dyn. :		15,96 m/rep				
								Débit spéc.		1,5 m ³ /h/m				
Traçage :			Point d'injection :			/		Point de restitution :			/			
			Traceur :			/		Débit :			/			
Diagraphies et inspection :			Gamma-ray		<input checked="" type="checkbox"/>		Température - Conductivité		<input type="checkbox"/>		Flux		<input checked="" type="checkbox"/>	
			Résistivité		<input checked="" type="checkbox"/>		Verticalité		<input checked="" type="checkbox"/>		Cimentation (CBL)		<input type="checkbox"/>	
			Imagerie de parois		<input type="checkbox"/>		Autre :							
Opérations préalables à la réception :														
Contrôle par passage caméra :			<input checked="" type="checkbox"/>		Entreprise :			SADE - Service diagraphies						
Contrôle de verticalité :			<input checked="" type="checkbox"/>		Date :			16/10/2013						
Autre :														

04872X0057

Azay-le-Rideau

Compte-rendu de fin de travaux de forage

Réalisation d'un forage au Turonien à Azay-le-Rideau (37)

2

Localisation de l'ouvrage

✓ Coordonnées du forage (système de projection : Lambert 2 étendu) :

	X_Lt2e (m)	Y_Lt2e (m)	Z (m NGF)
F_Couture	458 245	2 253 792	98 ±1

	Commune	Section	Parcelle(s)
F_Couture	Azay-le-Rideau (37)	AZ	627

Réalisation d'une nouvelle ressource en eau au Turonien à AZAY LE RIDEAU (37)

Figure 2-1: Localisation du forage définitif



LEGENDE

SAFEGE
Ingénieurs Concrets

fond cartographique : IGN

mise à jour: 07/01/2014 - VERSION 1

0487 2x0057

0487 2x0057

3

Compte-rendu des travaux

Piquetage

02.07.2013	Repérage du forage définitif
	<u>Personnes présentes :</u>
	Mme Barot (Veolia), M. Bertrand (Entreprise SADE), M. Mariette (SAFEGE)

Aménagement de la plate-forme de travaux

17.07.2013	18.07.2013	Installation du chantier / Amenée de la foreuse Approvisionnement du matériel sur site
18.07.2013		Descente pompe immergée dans sondage de reconnaissance
18.07.2013		Mise en place de la foreuse et de l'atelier de foration

Foration et équipement de l'avant-puits

22.07.2013		Fabrication de la boue foragum – Remplissage des bacs hors sol
22.07.2013	23.07.2013	Foration au rotary à boue (311mm) de 0 à 8,40m > éboulement (biefs à silex) Cimentation de 3 à 4,80m
24.07.2013		Foration du bouchon de ciment – Profondeur atteinte : 14m
25.07.2013		Poursuite de la foration jusqu'à 24m. Pertes totales > bouchon de ciment
26.07.2013		Passage en circulation inverse Foration jusqu'à 26m – Pertes totales Déstabilisation des argiles à silex entre 2 et 5 m.
29.07.2013		Aléreur 22" jusqu'à 5m avec stabilisateurs
30.07.2013		Passage en rotary classique Profondeur atteinte : 11 m
31.07.2013		Passage en circulation inverse Profondeur atteinte : 15 m
01.08.2013		Pose d'un tube acier 530mm de 0 à 8,40m – Ancrage jusqu'à 11m
02.08.2013		Tricône 20" – Foration jusqu'à 14,2m
05.08.2013		Profondeur atteinte : 18,5m
06.08.2013		Profondeur atteinte : 23m Pertes totales à partir de 22,4m
07.08.2013		Essai de foration à l'eau avec injection d'eau pompée sur le forage de reconnaissance Profondeur atteinte : 24m
08.08.2013		Passage en circulation inverse Perte totale à 25,5m Profondeur atteinte : 28,7m
09.08.2013		Bouchon de ciment – Top ciment à 25,2m Mise à l'arrêt du chantier

26.08.2013	Reprise foration 20" Perte à 26 m Injection d'un coulis de bentonite+ciment
27.08.2013	Reprise foration 20" Perte à 27 m Injection d'un coulis de bentonite+ciment
28.08.2013	Maintenance
29.08.2013	Reprise foration 20" de 19,7 à 28m Perte à partir de 25,3 m
30.08.2013	Profondeur atteinte : 33 m
02.09.2013	Profondeur atteinte : 36 m – Niveaux très durs
03.09.2013	Profondeur atteinte : 36,7 m – Niveaux très durs (avancement 0.2m/h)
04.09.2013	Profondeur atteinte : 36,8 m
05.09.2013	Profondeur atteinte : 42 m (avancement environ 1m/h)
06.09.2013	Profondeur atteinte : 46,5 m
09.09.2013	Contrôle de trou
09.09.2013 10.09.2013	Pose du tubage acier inox 406mm +0.5m à -46,5m
11.09.2013	Cimentation de 20 à 46,5m
12.09.2013	Attente prise ciment

Foration et équipement du forage – Colonne captante

16.09.2013	Reprise de la foration en diamètre 375mm foration du bouchon de ciment de 45,4 à 46,5 m Profondeur atteinte : 50m (Tuffeau jaune)
17.09.2013	Foration en circulation inverse Profondeur atteinte : 66m (avancement environ 3m/h)
18.09.2013	Profondeur atteinte : 84 m
19.09.2013	Profondeur atteinte : 85 m Pose de la colonne captante (219mm) de 43 à 85m Massif de gravier 5/8mm de 44 à 85,5m
20.09.2013	Maintenance
23.09.2013	Mise en place d'un cône de réduction

Nettoyage, Traitement et Développement

24.09.2013	Descente d'un dispositif air-lift – Nettoyage et mise en eau claire NS = 43,02 m
24.09.2013	Mise en place de l'unité d'acidification Injection de 500L à 55m – Temps de contact : 2h30 Air-lift de nettoyage
25.09.2013	Injection de 1m ³ – Temps de contact : 4h Air-lift de nettoyage – venue de sable Compte tenu des résultats, SAFEGE demande l'arrêt des passes d'acidification – Poursuite du développement par pompage.
26.09.2013	Démontage air-lift – Descente pompe immergée
27.09.2013 30.09.2013	Pompages de développement – Venues de sables importantes > Décision de mettre en œuvre un développement par airshock©
01.10.2013 03.10.2013	Mise en œuvre du dispositif airshock

0487 2x0057

Azay-le-Rideau

Compte-rendu de fin de travaux de forage

Réalisation d'un forage au Turonien à Azay-le-Rideau (37)

4.10.2013	08.10.2013	Descente pompe immergée et reprise des pompages de développement
Pompages d'essai et analyses		
10.10.2013		Pompage par paliers non enchaînés (20/25/30/35/Qmax m ³ /h) Niveau statique = 44,70 m /rep (repère à +0.7m/sol)
11.10.2013	14.10.2013	Démarrage de l'essai 72h à 10h30 au débit de 23 m ³ /h Point d'eau suivi : forage de reconnaissance Le forage de M. Quinque ne peut pas être suivi faute de pouvoir descendre un capteur dans le forage. Prélèvement pour analyse complète > Laboratoire départemental 37 / Prélèvement le 14.10.2013 à 9h30 Suivi de la remontée
15.10.2013		Contrôle du fond : 85,52m/rep (repère à +0.6m/sol)
Opérations de contrôle et de réception		
16.10.2013		Examen visuel par passage caméra
16.10.2013		Diagraphies de flux, résistivité PN et GN, Gamma-ray + contrôle de verticalité
17.10.2013		Injection d'une solution d'eau de Javel – Brassage et évacuation par pompage
Opérations annexes		
18.10.2013		Mise en place du capot soudé
18.10.2013		Repli du matériel – Remise en état du site

4

Description de l'ouvrage

4.1 Coupe géologique

4.1.1 Données géologiques

✓ Examen des cuttings

Profondeur (m)	Lithologie
0 – 4	Argile jaunâtre avec de nombreuses concrétions de couleur rouille
4 – 5	Argile blanchâtre avec éléments siliceux orangés
5 – 6	Argile rouille avec nombreux fragments de silex
6 – 10	Niveaux à silex rouille + passages de marnes blanches
10 – 11	Craie blanche dure à silex
11 – 14	Craie blanche marneuse et silex roux
14 – 15	Perte
15 – 20	Calcaire blanc (50%) coquillers (50%)
20 – 23	Calcaire blanc (20%) coquillers (80%)
23 – 26	Calcaire blanc (75%) coquillers (25%) + concrétions rouille à 26m
26 – 47	Perte
47 – 48	Craie sableuse beige – quelques concrétions ocre / Réaction acide : modérée
48 – 49	Argile jaunâtre à pâte fine
49 – 50	Grès dur / réaction acide : nulle
50 – 51	Craie sableuse beige clair – quelques concrétions ocre, peu de glauconie / réaction acide : modérée
51 – 52	idem. Fragments à cassure conchoïdale
52 – 53	idem avec augmentation du nombre de coquilles – nombreux tubes d'annélides
53 – 54	Argile jaune (similaire à 48-49m) + calcaire coquiller à glauconie
54 – 55	Craie sableuse jaunâtre clair – nombreux fossiles

04872x0057

Azay-le-Rideau

Compte-rendu de fin de travaux de forage

Réalisation d'un forage au Turonien à Azay-le-Rideau (37)

Profondeur (m)	Lithologie
55 – 56	Craie sableuse blanchâtre – Sable fin argileux de couleur rouille – Petits silex noirs arrondis – Quelques concrétions vertes
56 – 57	Craie sableuse grise – quelques concrétions rouille et verte – Glauconie +++
57 – 59	idem – peu de fossiles
59 – 60	idem – silex noirs + débris de coquillages
60 – 61	Niveau à silex noirs (> 90%)
61 – 62	idem avec quelques concrétions rouille
62 – 63	Craie sableuse grise – quelques silex noirs (<5%)
63 – 64	idem avec augmentation débris coquillages
64 – 68	Craie sableuse gris très clair – glauconie +
68 – 69	idem + argile jaune
69 – 74	idem teinte plus grise – pas de concrétions
74 – 75	idem – concrétions rouille
75 – 85	idem – pas de concrétions Tuffeau gris - glauconie abondante

Tableau 4-1 : descriptions des cuttings

✓ Diagraphie GR

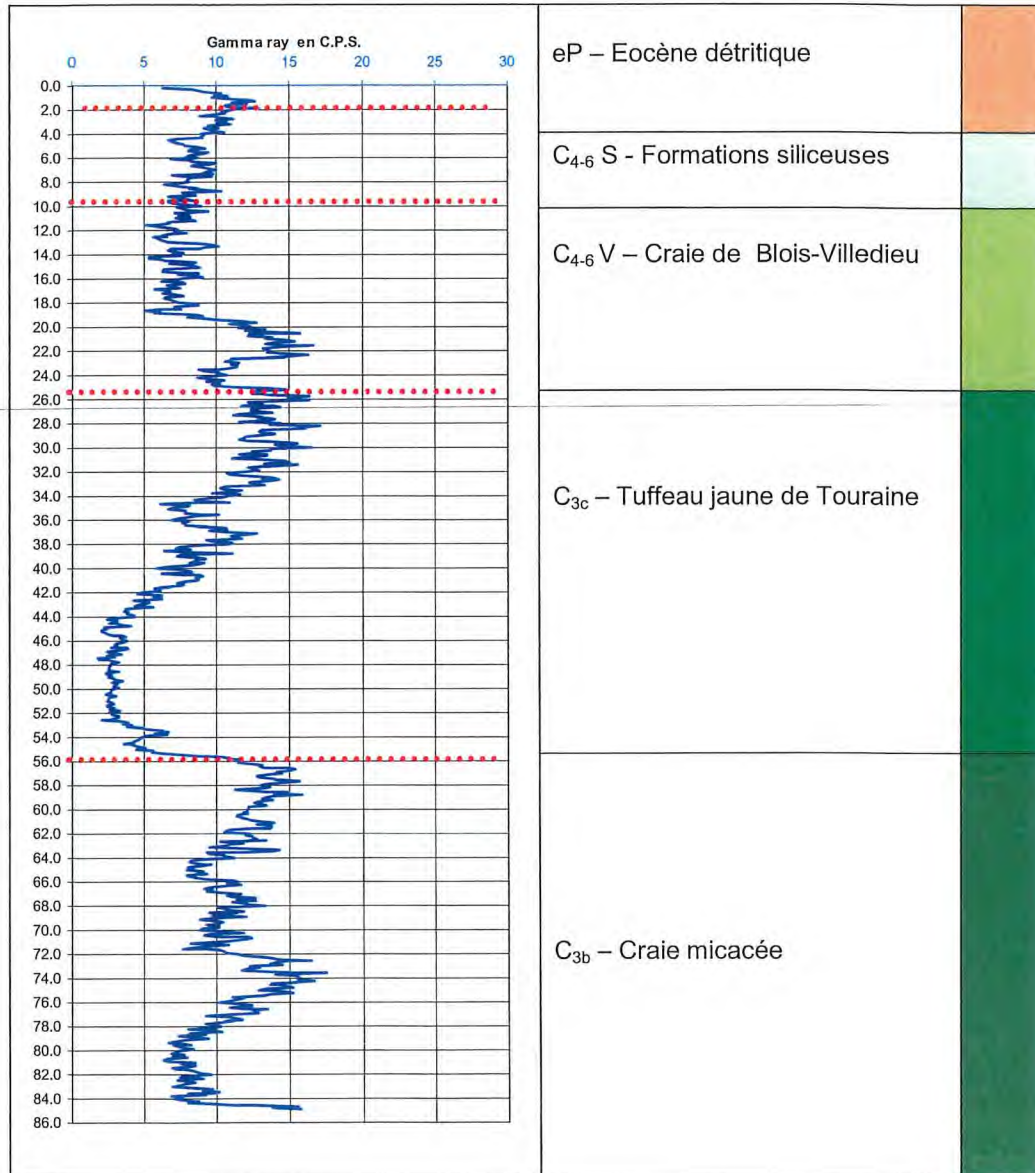


Figure 4-1 : interprétation de la diagraphie gamma naturel

4.1.2 Interprétation stratigraphique

L'interprétation des cuttings associée à l'examen de la carte géologique (n°487-Langeais) et l'enregistrement GR nous amènent à interpréter la coupe géologique comme suit :

Tableau 4-2 : calage stratigraphique

De (m)	à (m)	
0	1	Recouvrement superficiel
1	4	Argile à silex (Éocène, eP)
4	10	Formations siliceuses (Sénonien, C ₄₋₆ S)
10	26	Craie de Villedieu - Faciès marno-calcaire (Sénonien, C ₄₋₆ V)
26	56	Tuffeau jaune – (Turonien, C _{3c})
56	85	Tuffeau gris – Craie micacée – (Turonien, C _{3b})

Cette interprétation diffère de celle proposée sur le forage de reconnaissance du fait d'une meilleure qualité d'échantillonnage des cuttings.

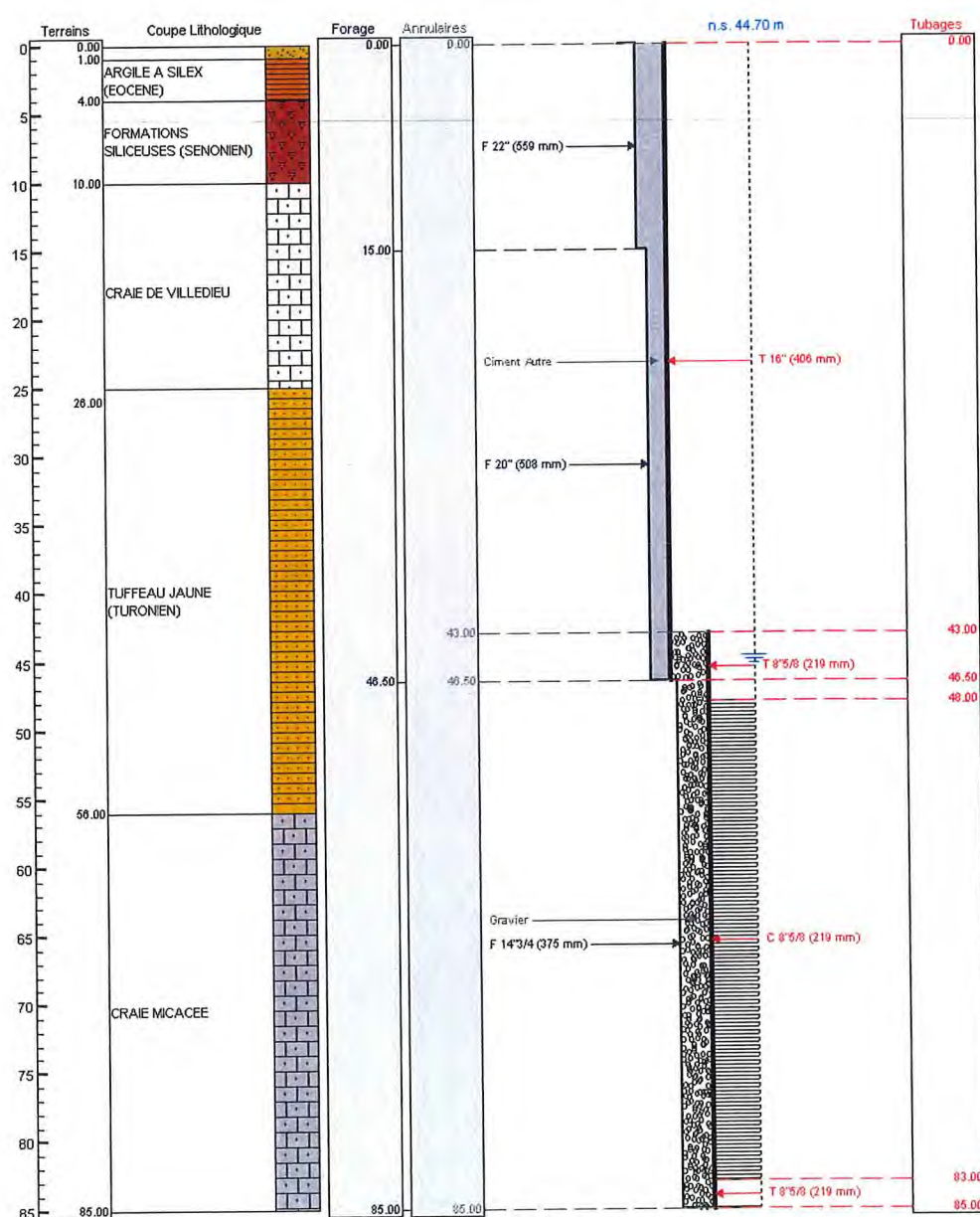
Rappel :

- Niveau statique : 44,7 m/rep (11/10/2013 à 10h30)

4.2 Coupe technique

La coupe finale de l'ouvrage est donnée Figure 4-2.

Figure 4-2 : coupe géologique et technique du forage d'Azay le Rideau



4.3 Diagraphie de flux

Le log de flux a été effectué au débit de 16 m³/h avec une pompe positionnée à 52m.

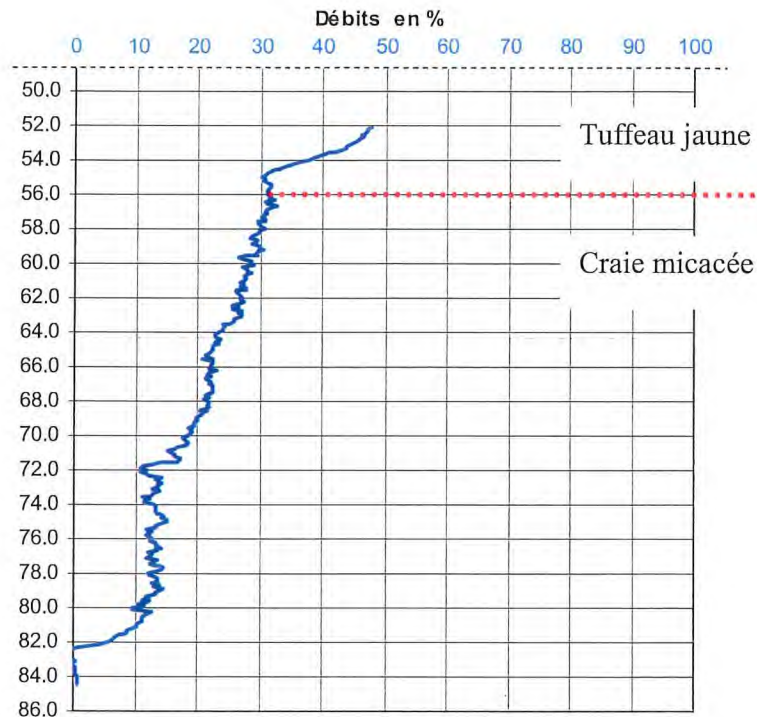


Figure 4-3 : localisation des arrivées d'eau

La répartition des arrivées d'eau est la suivante :

- ✓ < 52 m : 50 %
- ✓ 52 - 55m : 20 %
- ✓ 55 – 68 : 10%
- ✓ 68 - 72 : 10%
- ✓ 72 – 80 : 0%
- ✓ 80 – 82 : 10%

D'un point de vue hydrogéologique, plus de 70% du débit provient de l'aquifère du Tuffeau jaune du Turonien. La base du tuffeau jaune est productive (20% du débit). Une arrivée d'eau plus profonde correspond à un niveau moins argileux de la craie micacée.

5

Pompages d'essai

A l'issue des travaux de foration et d'équipement, les pompages d'essai suivants ont été effectués :

ESSAI PAR PALIERS		Nombre de paliers :	5				
		Débit (m ³ /h)	20	25	30	35	38
Enchaînés		Durée d'un palier :	1 heure				
Avec remontée intermédiaire	X	Durée de la remontée :	1 heure				
ESSAI CONTINU		Durée :	72 heures				

Tableau 5-1 : essais de pompage réalisés

NB : Le dernier palier de débit n'a pas été mené à son terme.

5.1 Essai par paliers

Le rabattement total mesuré dans un forage en cours de pompage, et en l'absence d'influence d'un autre prélèvement à proximité, correspond à la somme de deux composantes distinctes :

- ✓ Les **pertes de charges linéaires** liées à la circulation de l'eau au sein de l'aquifère et à ses caractéristiques hydrodynamiques.
- ✓ Les **pertes de charges quadratiques** liées à la circulation de l'eau à l'interface forage/aquifère, à la conception de l'ouvrage et à son état de vieillissement.

La courbe caractéristique permet de définir également un débit critique (Qc) qu'il est d'usage de ne pas dépasser afin de préserver la pérennité de l'ouvrage.

Les fiches récapitulatives des essais sont présentées ci-après.

Figure 5-1: Évolution du niveau piézométrique - essai par paliers

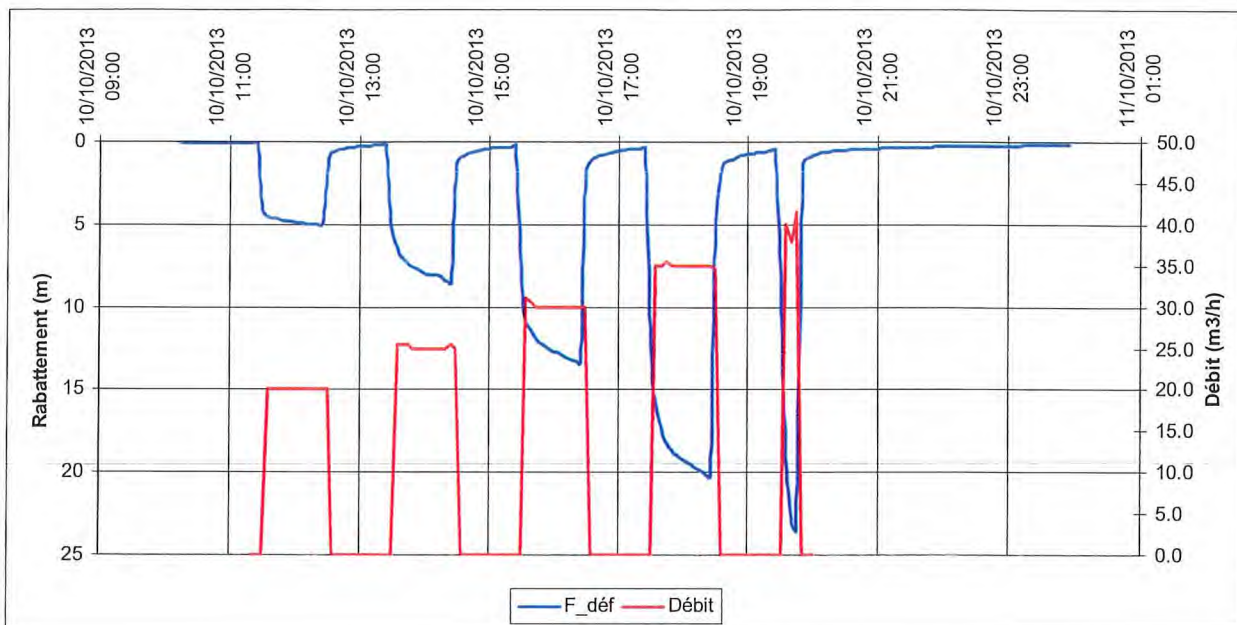
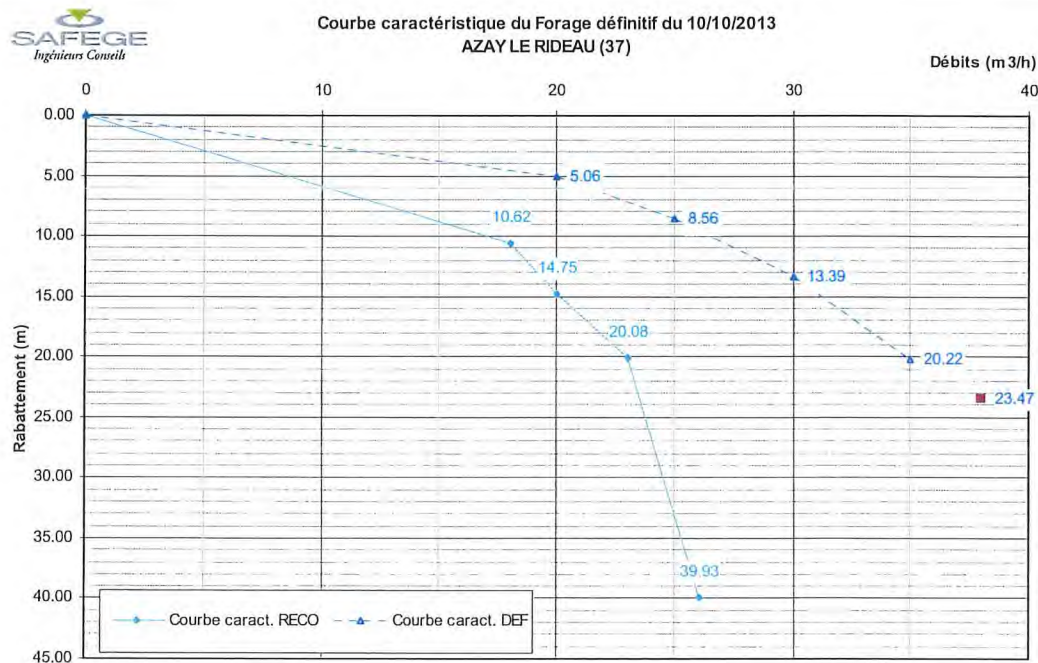


Figure 5-2: Comparaison des courbes caractéristiques - essai par paliers



La productivité du forage définitif (Q_s à $20\text{ m}^3/\text{h} = 4\text{ m}^3/\text{h/m}$) a été améliorée par rapport au forage de reconnaissance (Q_s à $20\text{ m}^3/\text{h} = 1.35\text{ m}^3/\text{h/m}$) du fait d'un plan de tubage et d'une complétion optimisés.

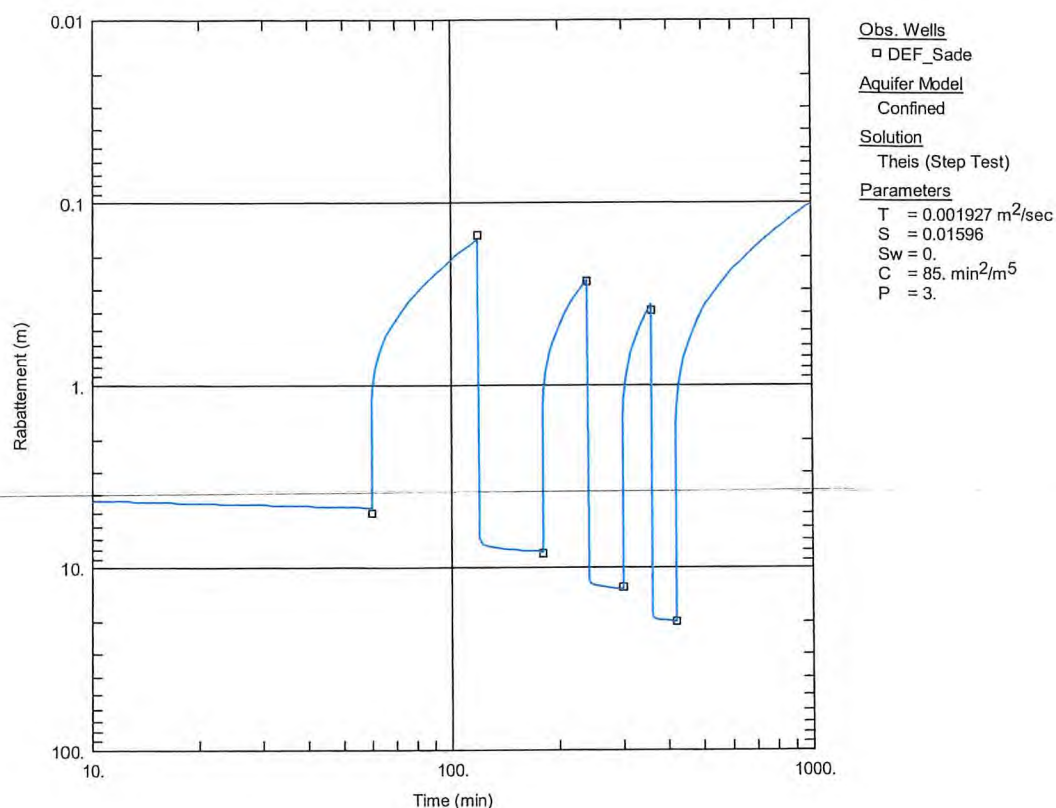


Figure 5-3: Interprétation des coefficients de l'équation de la courbe caractéristique

L'interprétation du pompage d'essai par paliers (essai de puits) met en évidence une équation de la courbe caractéristique de type :

$$S = BQ + CQ^n$$

Avec $n = 3$

Au delà d'un débit d'exhaure de $20 \text{ m}^3/\text{h}$, le niveau dynamique croît rapidement avec nette baisse du débit spécifique.

Tableau 5-2 : résultats des paliers de pompage

Palier	Durée	Débit	Rabatement	Débit spécifique
n°	h	$M3/h$	m	$m3/h/m$
1	1	20	5.06	4.0
2	1	25	8.56	2.9
3	1	30	13.39	2.2
4	1	35	20.22	1.7
5	1/3	38	23.47	1.6

! Le rabattement à $38 \text{ m}^3/\text{h}$ a été pris au bout de 20 min – avant arrêt du pompage pour raison de dénoyage

5.2 Essai de longue durée

5.2.1 Conditions de réalisation de l'essai / Observations

Forage testé :	Forage définitif
Débit :	23,5 m ³ /h
Points d'eau suivis :	Forage de reconnaissance
Rejet :	Fossé
Niveau statique :	44,7 m/rep
Démarrage :	11/10/2013 à 10h30
Arrêt :	14/10/2013 à 10h30

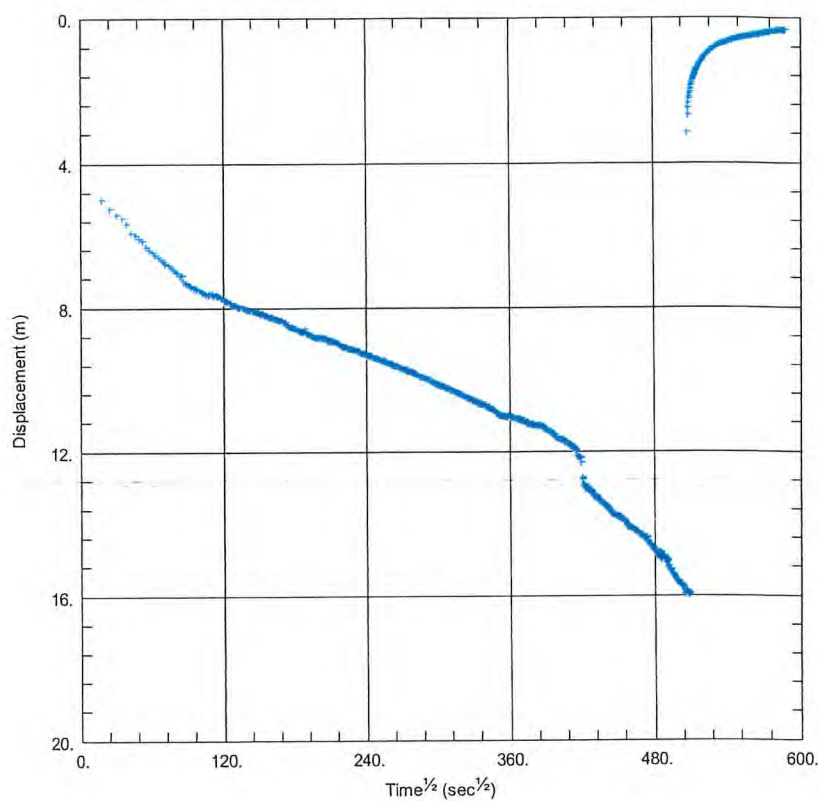
Au démarrage de l'essai continu, le débit a été fixé à 23,5 m³/h.

Le débit a décroît progressivement jusqu'à 22,5 m³/h avant d'être relevé à 23,5 m³/h au bout de 48h de pompage.

OBSERVATIONS DE LA DESCENTE :

- Une baisse immédiate du niveau dynamique (environ 5 mètres) est constatée notamment liée aux pertes de charges quadratiques.
- Une rupture de pente dès l'atteinte d'un rabattement d'environ 8 mètres soit un niveau dynamique de 52 mètres de profondeur. Cette profondeur correspond à l'atteinte des arrivées d'eau (10% du débit pompé – Q = 16m³/h) localisées entre 52 et 55m
- Une seconde rupture de pente à 12 mètres de rabattement (temps = 172 800 s) soit un niveau dynamique de 56 mètres de profondeur (contact tuffeau jaune-craie micacée).
 - o Dénoyage complet des arrivées d'eau localisées entre 52 et 55 m.
 - o A ce stade, les arrivées d'eau constituant 70% du débit pompé sont dénoyées au niveau du forage.

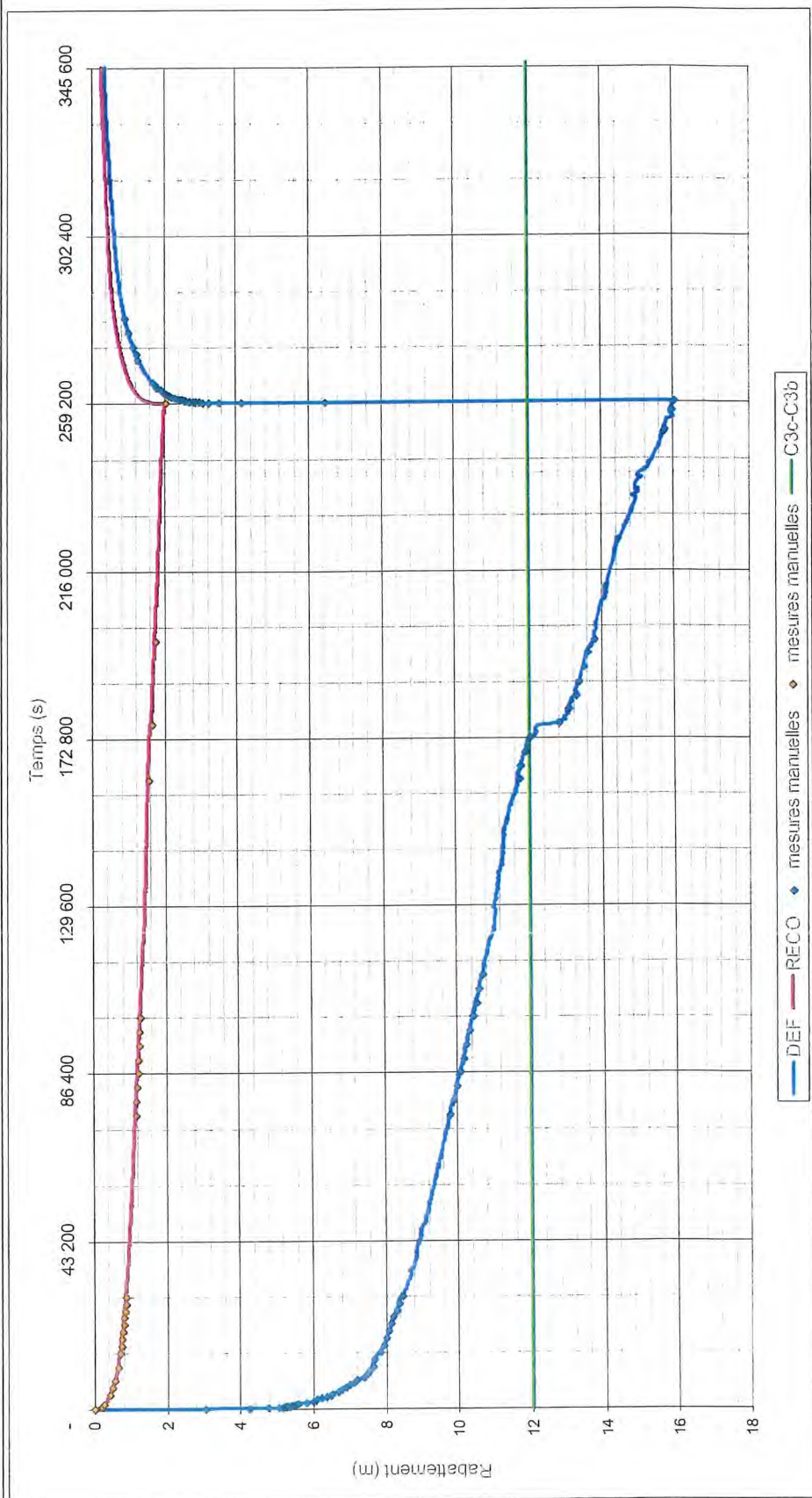
Le graphique du rabattement en fonction de la racine carrée du temps s'ajuste en plusieurs segments de droites confirmant ainsi un écoulement linéaire prépondérant vers le pompage.

Figure 5-4 : graphe d'interprétation $s=f(\sqrt{t})$ **OBSERVATIONS DE LA REMONTÉE :**

Temps après arrêt du pompage	Rabatement résiduel (m)	% Remontée
0	16.02	0
1 h 00	1,90	88
1 h 30	1,68	90
6 h	0,92	94

Tableau 5-3 : remontée du niveau piézométrique

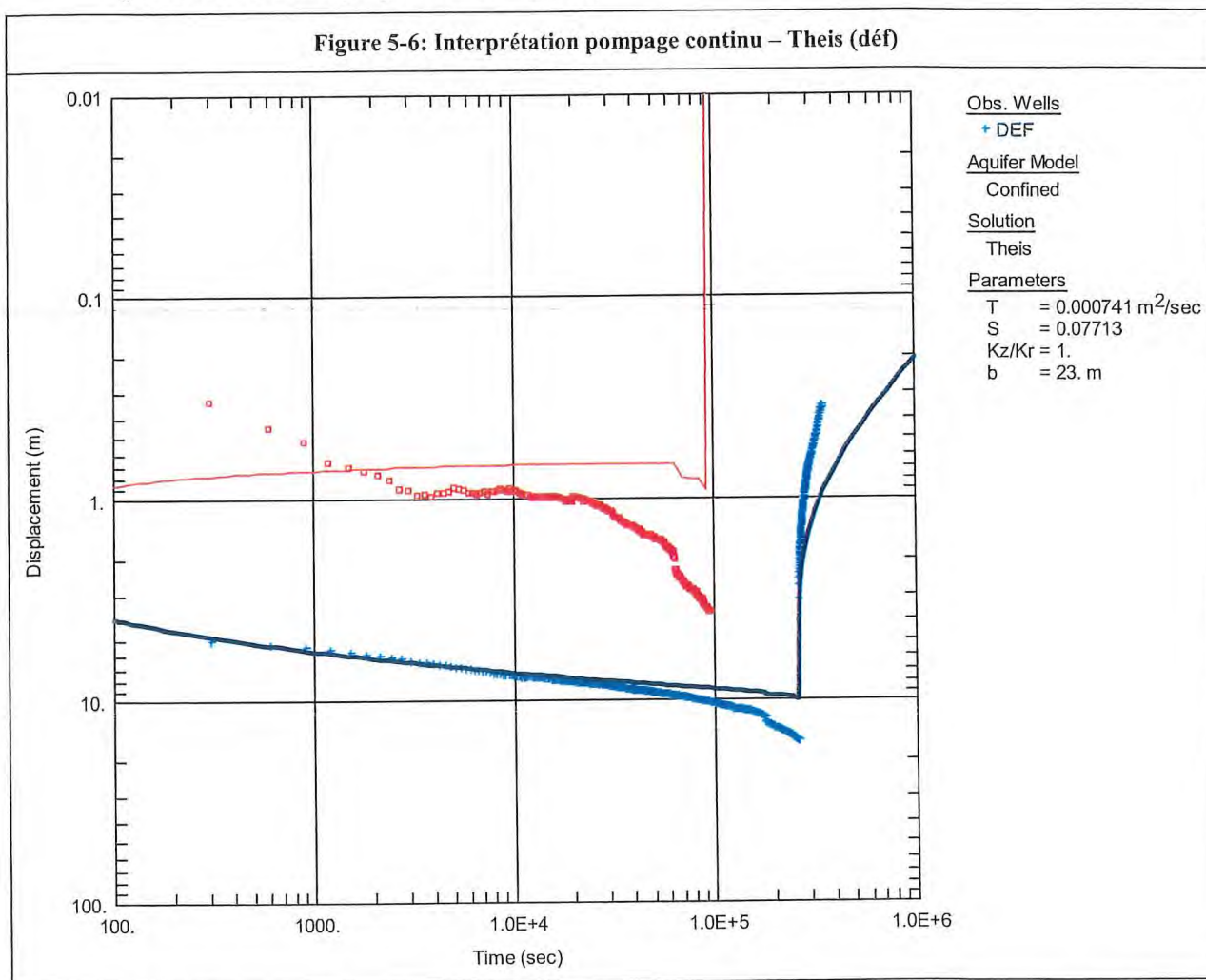
Figure 5-5: Évolution du niveau piézométrique pendant l'essai continu



04872x0057

5.2.2 Interprétation de l'essai¹

Dans u premier temps, l'essai de nappe par pompage de longue durée est interprété par la solution analytique de Theis (1935).



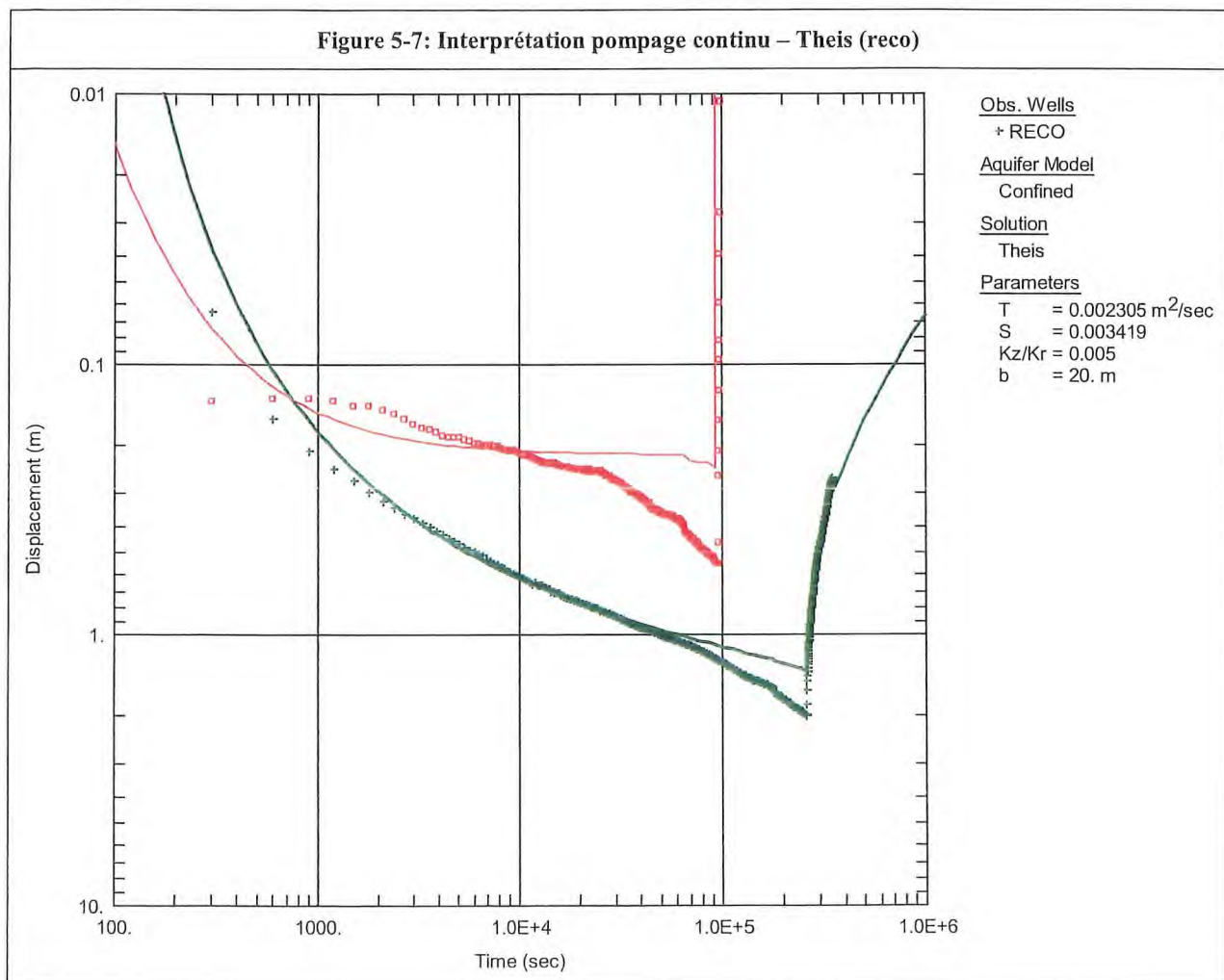
- ✓ La courbe dérivée confirme les observations avec des évolutions de rabattements bien marquées.
- ♦ L'aquifère répond au modèle de Theis tant que l'arrivée inférieure n'est pas dénoyée ($t \approx 3.10^4$ secondes soit environ 8 heures de pompage). Les valeurs de T et S sont un mélange des valeurs de chaque aquifère.

¹ Interprétation des résultats du pompage d'essai de longue durée via le logiciel AQTESOLV PRO Version 4.5
Copyright © 2004-2007 Glenn M. Duffield, HydroSOLVE, Inc.

- ♦ Au delà de cette durée de pompage, la courbe de Theis s'ajuste selon les propriétés du réservoir de la craie micacée.
- ✓ La phase de remontée est mal retranscrite avec le modèle de Theis du fait de l'anisotropie de l'aquifère capté.

A partir des rabattements mesurés sur le forage de reconnaissance, les valeurs de transmissivité (T) et d'emmagasinement (S) de l'aquifère capté sont :

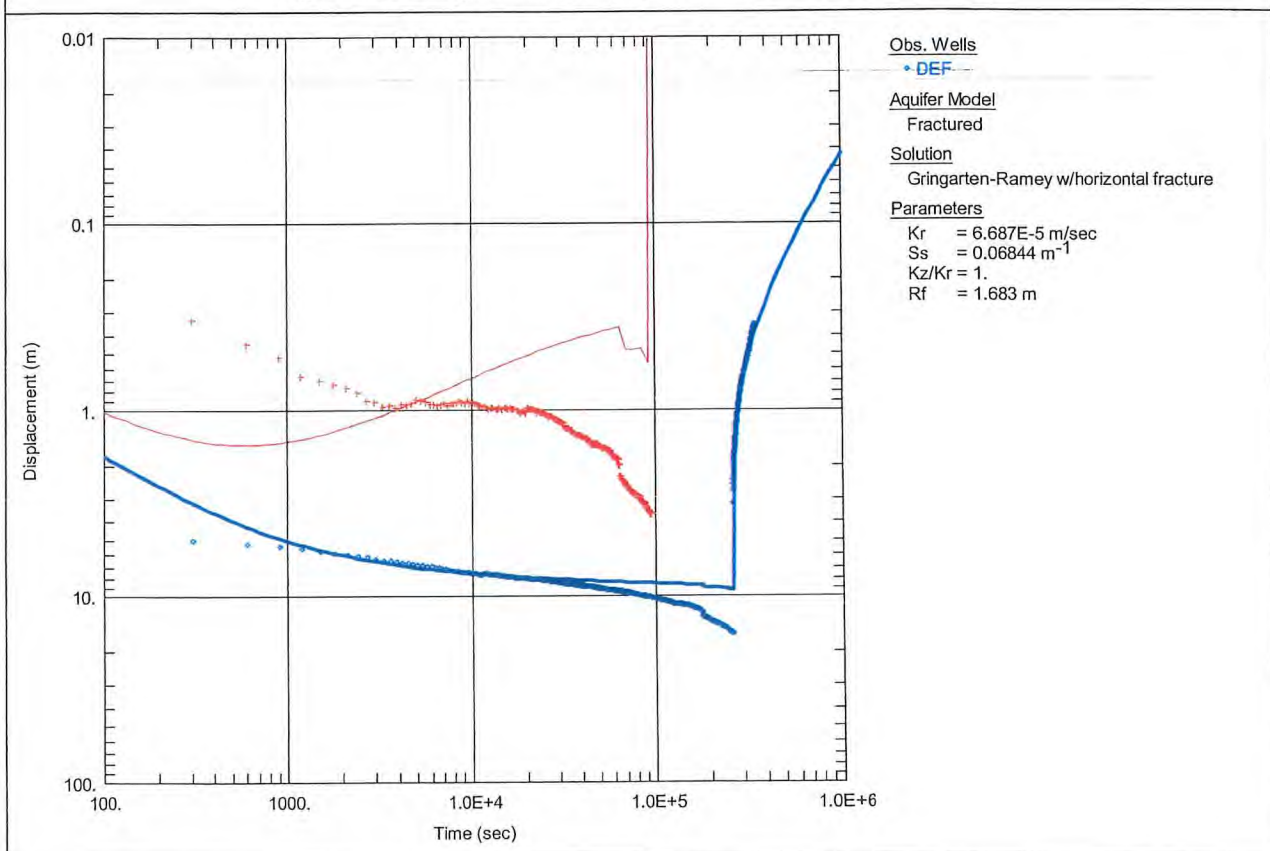
- $T = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- $S = 3 \cdot 10^{-3}$



La solution analytique de Theis ne permet pas de retranscrire les courbes de descente et de remontée du fait du dénoyage du tuffeau et des propriétés hydrodynamiques différentes entre la craie micacée et le tuffeau. Les variations rapides du rabattement s'expliquent par les phases de dénoyage des différentes arrivées d'eau. Ces observations confirment une circulation d'eau localisée aux niveaux des discontinuités sédimentaires au sein du tuffeau jaune et de la craie micacée (C_{3c}/C_{3b}).

SAFEGE propose de poursuivre l'interprétation avec l'équation de Gringarten-Ramey avec une fissure horizontale, afin de modéliser le contact sédimentaire tuffeau jaune/craie micacée.

Figure 5-8: Interprétation pompage continu – Gringarten -Ramey



De la même manière, la courbe de descente n'est pas fidèlement reproduite et le rabattement augmente nettement dès le dénoyage du tuffeau jaune à environ 175 000 secondes (\approx 48 heures).

La courbe de remontée est mieux calée qu'avec la solution de Theis. La valeur de perméabilité radiale est :

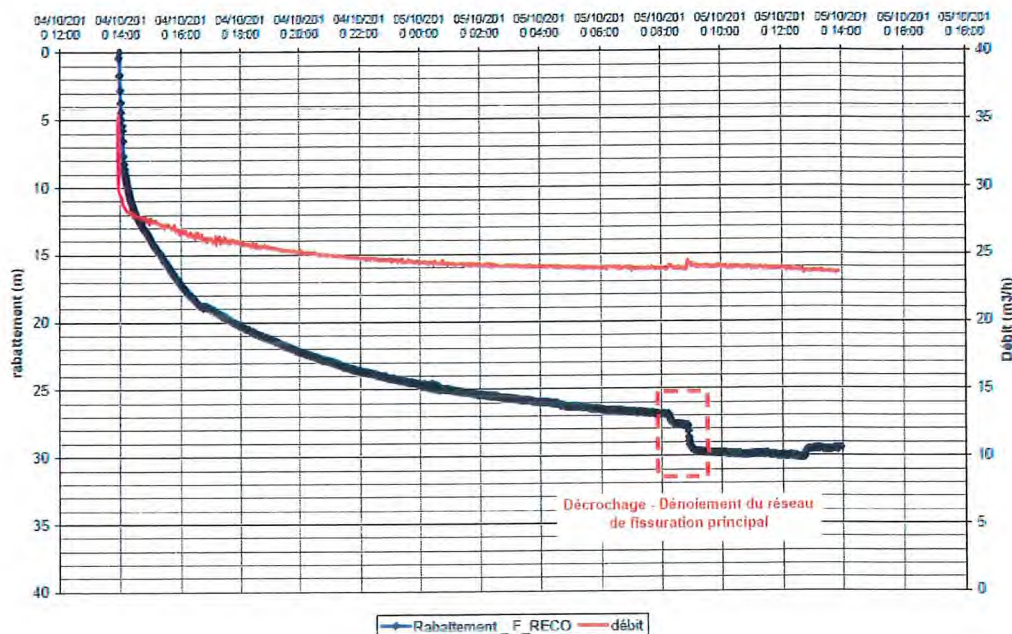
$$- K_r = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Il est donc impératif de maintenir noyée une partie des arrivées d'eau localisées au contact C_{3c}/C_{3b}.

5.3 Comparatif avec l'essai de 2010

Sur l'essai de 2010, un décrochage avait également été identifié sur la courbe de descente. Il correspond à l'atteinte de la base des arrivées d'eau localisées entre 55 et 72 mètres. Au delà, les arrivées d'eau quantifiées ne participent qu'à hauteur de 10 % du débit pompé. La rupture au contact tuffeau jaune / craie micacée n'est pas observée en raison d'un avant-puits (tube plein) qui descend jusqu'à 51 mètres (rappel : Plus de 50% du débit est constitué par les arrivées d'eau localisées au-dessus de 52 mètres de profondeur).

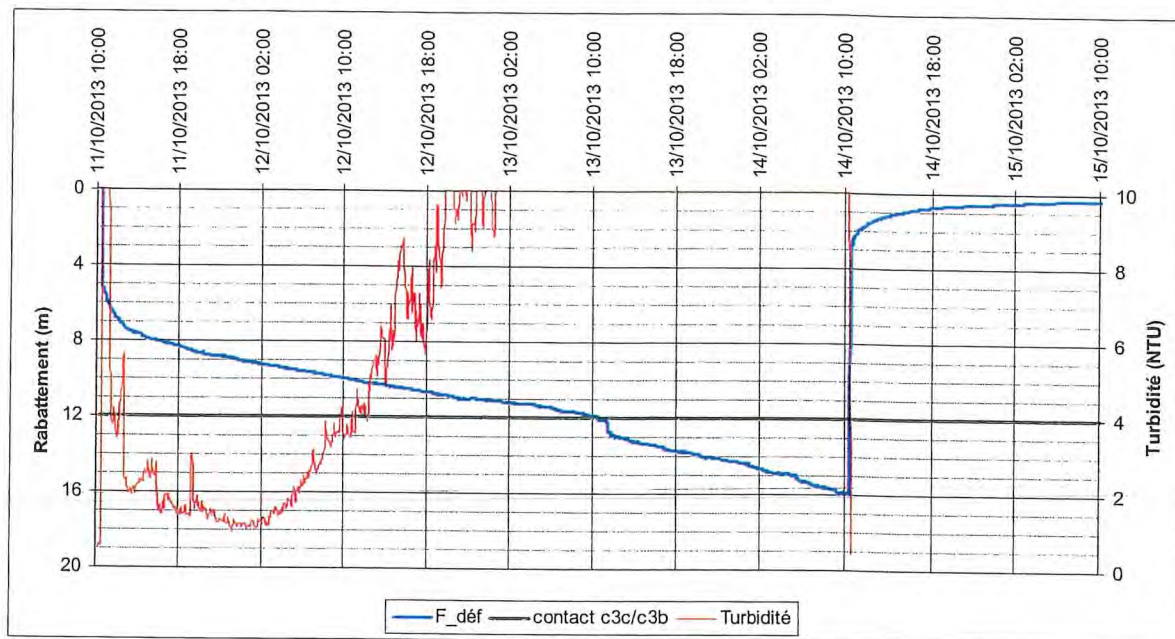
Figure 5-9: Courbe de descente sur le forage de reconnaissance (essai de 2010)



5.4 Suivi de la turbidité

Compte tenu du contexte hydrogéologique et de la nature aquifère, un suivi de la turbidité a été réalisé en continu pendant le pompage d'essai de longue durée.

Figure 5-10: évolution de la turbidité lors de l'essai continu



L'évolution de la turbidité montre :

- Une turbidité élevée au démarrage du pompage liée à la mise en suspension des particules ayant décantées dans le forage et dans les discontinuités captées.
- Après quelques heures de nettoyage, la turbidité baisse jusqu'à l'atteinte, par le niveau dynamique, des arrivées d'eau localisées au contact C_{3c}/C_{3b}.
- A partir du dénoyage de ces arrivées d'eau, la turbidité va croître rapidement en relation directe avec une augmentation nette des vitesses d'entrée dans la crépine.
- Deux phases sont identifiées dans la portion de courbe ascendante :
 - o La turbidité croît jusqu'à l'atteinte de 10,5 m de rabattement par le forage (fin des arrivées d'eau identifiées sur le log de flux concernant le tuffeau jaune)
 - o La turbidité baisse pendant quelques heures avant d'augmenter de nouveau.

Au même titre que les conclusions du pompage d'essai, le suivi de la turbidité confirme que le suivi du niveau dynamique en phase d'exploitation sera primordial pour ne pas dénoyer la totalité des arrivées d'eau localisées au contact C_{3c}/C_{3b}.

6

Qualité de la ressource en eau

A la fin des pompages d'essai, le **Laboratoire Départemental de Touraine** a procédé au prélèvement d'un échantillon d'eau brute.

Les résultats sont interprétés selon les normes de qualité détaillées dans les arrêtés suivants :

- ✓ Arrêté du 21 janvier 2010 modifiant l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif au programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de distribution, pris en application des articles R. 1321-10, R. 1321-15 et R. 1321-16 du code de la santé publique.
- ✓ Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique.

Les principales caractéristiques de l'eau captée par le forage sont les suivantes :

Paramètres physico-chimiques généraux	Definit
Titre Alcalimétrique Complet (d° Français)	26
Silice (mg SiO ₂ / l)	24
Température (°C)	14.4
pH	7.25
Oxygène dissous (mg/l)	4.4
Conductivité à 25°C (µS/cm)	684
Potentiel d'oxydo-réduction (mV)	108
Cations majeurs	
Calcium (mg/l)	127
Magnésium (mg/l)	3.2
Sodium (mg/l)	17.7
Potassium (mg/l)	1.49
Anions majeurs	
Hydrogénocarbonates (mg/l)	317
Chlorures (mg/l)	48
Sulfates (mg/l)	12
Fluorures (µg/l)	<0.2
Nitrates (mg/l)	11

04872x0057

Limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

	DEF	LQ	unité
Date de prélèvement (JJ/MM/AAAA)	14.10.2013		
Paramètres microbiologiques			
Escherichia Coli	0	0	/ 100 ml
Entérocoques	0	0	/ 100 ml
Paramètres chimiques			
Antimoine	0.6	5	µg/l
Arsenic	3	10	µg/l
Baryum	0.032	0.7	mg/l
Benzène		1	µg/l
Benzo(a)pyrène		0.01	µg/l
Bore	< 0.05	1	mg/l
Bromates		10	µg/l
Cadmium	< 0.025	5	µg/l
Chlorure de vinyle	< 0.05	0.5	µg/l
Chrome	2	50	µg/l
Cuivre	0.0059	2	mg/l
Cyanures totaux	< 20	50	µg/l
1, 2 dichloroéthane	< 0.11	3	µg/l
Fluorures	< 0.2	1.5	mg/l
HAP (somme)	/	0.1	µg/l
Mercure	< 0.3	1	µg/l
Nickel	5.8	20	µg/l
Nitrates	11	50	mg/l
Nitrites	0.14	0.5	mg/l
Pesticides (par substance) :			
- Terbutrine (herbicide)	0.009	0.1	µg/l
- Prométrine (herbicide)	0.008		
Pesticides (aldrine, dieldrine, heptachlore, heptachlorépoxyde)	/	0.03	µg/l
Pesticides (total)	0.017	0.5	µg/l
Plomb	< 2	10	µg/l
Sélénium	< 2.5	10	µg/l
Tetrachloroéthylène – Trichloroéthylène (somme)	/	10	µg/l
THM (somme)	/	10	µg/l
Turbidité	25	1	NFU

Références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

	DEF	RQ	unité
Date de prélèvement (JJ/MM/AAAA)	14.10.2013		
Paramètres microbiologiques			
Bactéries coliformes	0	0	/100 ml
Bactéries sulfitoréductrices	/	0	/ 100 ml
Paramètres chimiques et organoleptiques			
Aluminium total	74.8	200	µg/l
Ammonium	0.44	0.1 / 0.5	mg/l
COT	1.7	2	mg/l
Chlore libre - total		absence d'odeur	
Chlorures	48	250	mg/l
Conductivité	684	180 < C < 1000	µS/cm à 20 °C
		200 < C < 1100	µS/cm à 25°C
Couleur	5	mg de Pt	
Cuivre	0.0059	1	mg/l
Equilibre calco-carbonique	eau calcifiante		
Fer total	243	200	µg/l
Manganèse	9.3	50	µg/l
Odeur	Inodore		
pH	7.25	6.5 < pH < 9	unité pH
Saveur			
Sodium	17.7		
Sulfates	12		
Température	14.4		
Turbidité	25	0.5	NFU
		2	NFU
Paramètres indicateurs de radioactivité			
Activité alpha globale	0.58	< 0.1	Bq/L sinon recherche de radionucléides
Activité bêta résiduelle	0.2	< 1	
Tritium	< 7.20	100	Bq/l
Radionucléides :			
U-234	0.276		
U-238	0.344		
Dose totale indicative (DTI)	0.021	0.1	mSv/an

Limite de qualité des eaux brutes de toute origine pour la production d'eau destinée à la consommation humaine

	DEF	LQ	unité
Date de prélèvement (JJ/MM/AAAA)	14.10.2013		
Paramètres microbiologiques			
Escherichia Coli	0	20 000	/ 100 ml
Entérocoques	0	10 000	/ 100 ml
Paramètres organoleptiques			
Couleur	5	200	mg/l (Pt)
Paramètres physico-chimiques			
Chlorures	48	200	mg/l
Sodium	17.7	200	mg/l
Sulfates	12	250	mg/l
Température	14.4	25	°C
Substances indésirables			
Agents de surface	< 100	0.5	mg/l
Ammonium	0.44	4	mg/l
COT	1.7	10	mg/l
Hydrocarbures dissous	/	1	mg/l
Nitrates	11	100	mg/l
Indice phénol	< 5	0.1	mg/l
Zinc	0.0134	5	mg/l
Substances toxiques			
Arsenic	3	100	µg/l
Cadmium	< 0.0025	5	µg/l
Chrome total	2	50	µg/l
Cyanures totaux	< 20	50	µg/l
HAP (somme)	/	1	µg/l
Mercuré	< 0.3	1	µg/l
Plomb	< 2	50	µg/l
Sélénium	< 2.5	10	µg/l
Pesticides			
par substance :			µg/l
- Terbutrine (herbicide)	0.009	2	
- Prométrine (herbicide)	0.008		
total	0.017	5	µg/l

**Potentiel
qualitatif**

La ressource en eau captée par le forage définitif (la Couture) présente une eau de bonne qualité.

La teneur en fer (243 µg/l) est supérieure à la limite de qualité de 200 µg/l et nécessitera un traitement adapté.

La présence de traces d'éléments indésirables (nickel, aluminium, ammonium, nitrites) confirme la qualité de la ressource en eau caractérisée sur le forage de reconnaissance.

Le rapport complet est fourni en annexe.

7

Opérations de contrôle – Opérations préalables à la réception

7.1 Examen visuel par passage caméra

L'examen visuel par passage caméra réalisé le 16 octobre 2103 par le service interne de diagraphies de la SADE met en évidence :

- Un plan de tubage conforme au plan de tubage du CCTP.
- L'avant-puits ne présente pas de détérioration visible
- Quelques dépôts sur les fils de la crépine surtout après 62 mètres de profondeur (dépôts = tuffeau jaune)
- Le gravier est bien en place à l'extrados de la colonne captante

7.2 Contrôle de la verticalité

La déviation du forage est de :

- 0 à 48m : inclinaison inférieure à 0,4 degré
- 48 à 85m : inclinaison entre 0.4 et 0.7 degré

La déviation de l'ouvrage est conforme aux exigences du CCTP.

8

Perspectives d'exploitation

8.1 Proposition d'un débit d'exploitation

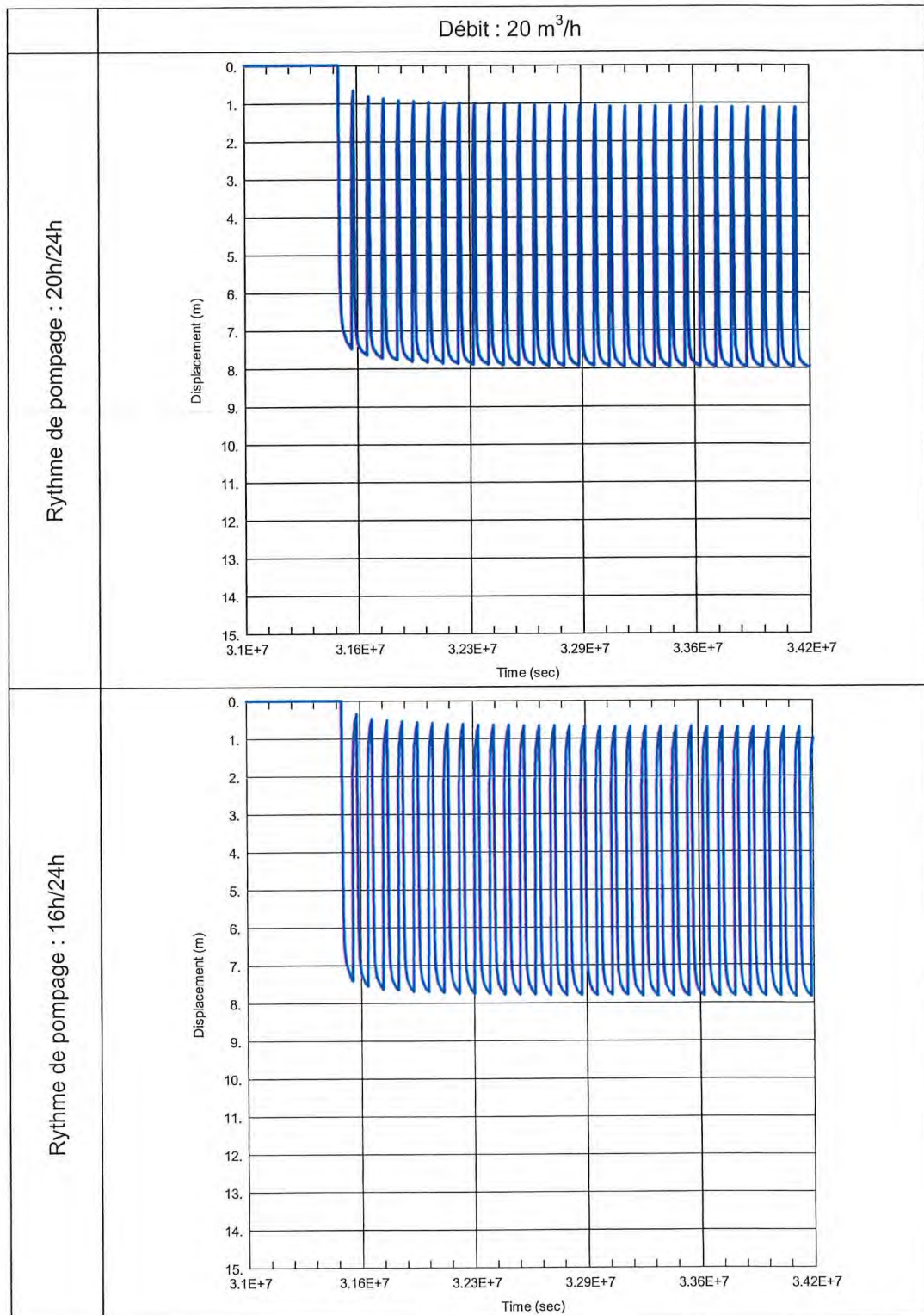
A partir du calage des courbes de descente et de remontée, des simulations prospectives ont été réalisées à différents débits et rythmes de pompage pour une période simulée de 30 jours. Il est important de rappeler les informations acquises par les pompages d'essai :

- ♦ Le débit critique de l'ouvrage est de l'ordre de $20 \text{ m}^3/\text{h}$.
- ♦ La majorité des arrivées d'eau sont localisées au sein du tuffeau jaune (C_3c) et près de 20% du débit provient du contact C_3c/C_3b (discontinuité sédimentaire à 55-56 m de profondeur).

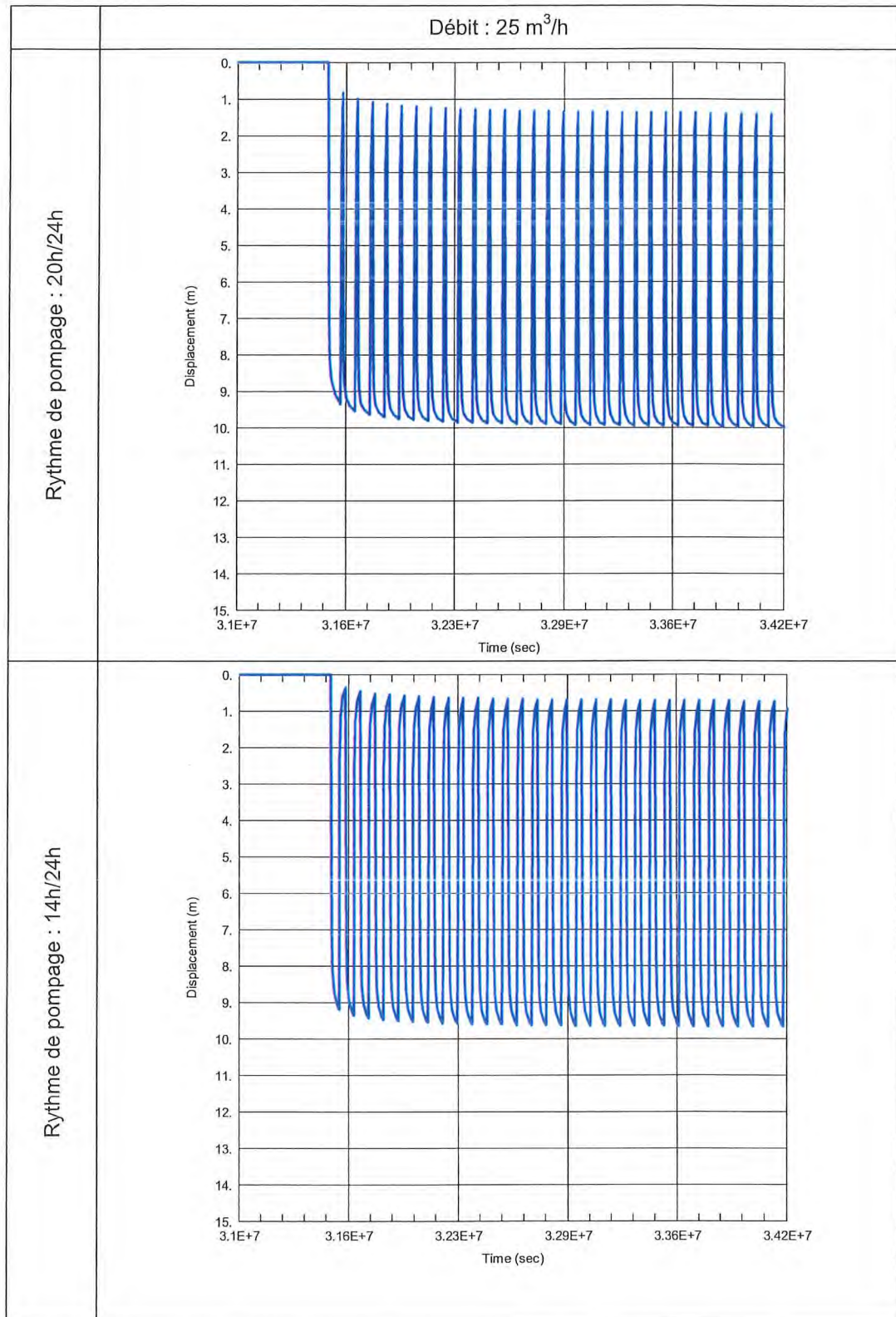
NB : Ces simulations ne tiennent pas compte d'une variation naturelle de la nappe (recharge/vidange).

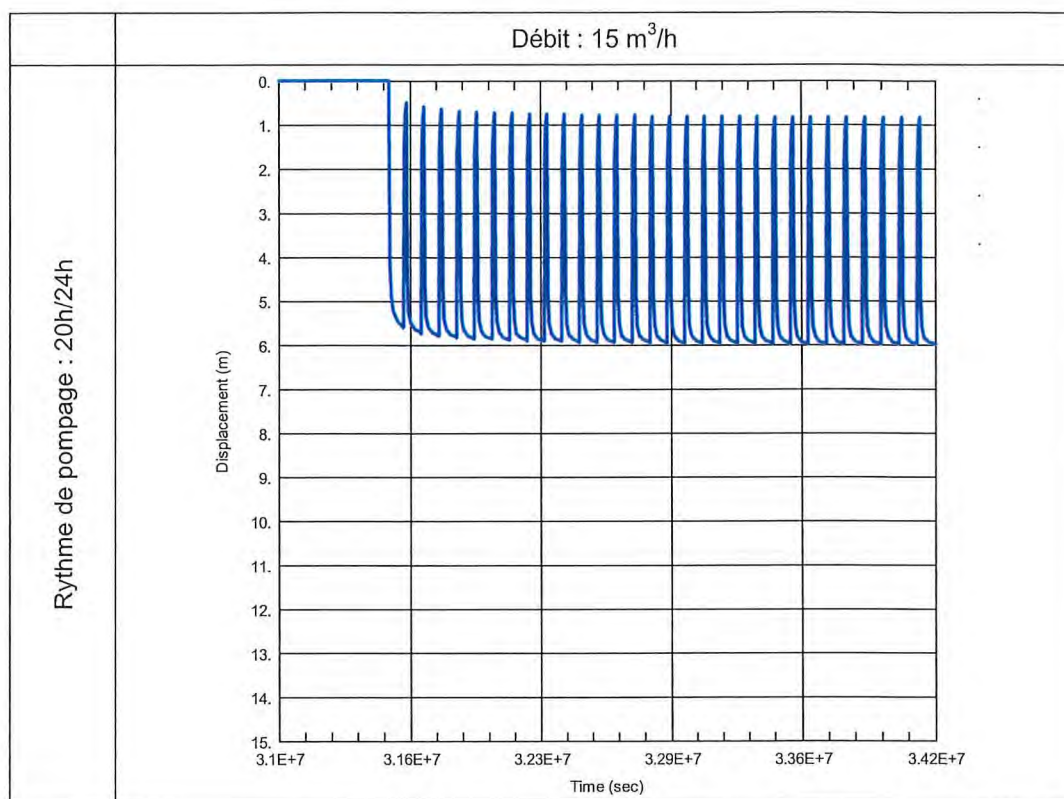
En conclusion, afin de maintenir noyée la base de l'aquifère du tuffeau jaune, un débit d'exploitation **maximal** de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ est préconisé.

Un rythme de pompage de l'ordre de 16h/24h peut être envisagé soit un volume pompé journalier de $320 \text{ m}^3 \pm 10 \text{ m}^3$ pour garantir la pérennité de l'ouvrage et de la ressource en eau.



A 20 m³/h, selon les modes d'exploitation présentés, le rabattement reste inférieur à 8 mètres.





8.2 Essais préalable à la mise en service

La seconde contrainte de cet aquifère est la vitesse d'entrée de l'eau dans les crépines, qui est responsable pro parte de la turbidité (cf. suivi de la turbidité pendant l'essai de longue durée).

Avant la réalisation d'une unité de traitement du fer et de la turbidité, SAFEGE préconise :

- ✓ La poursuite du développement de l'ouvrage au droit de la discontinuité tuffeau/craie micacée.
- ✓ La poursuite d'essais de pompage à débit variable avec suivi en continu de la turbidité et analyses du paramètre fer.

Ces essais sont destinés à optimiser le débit d'exploitation en fonction de la turbidité générée par l'aquifère.

