



## Etude multi-énergie Lycée Rabelais

\*\*\*

Chinon (Indre-et-Loire, 37)

# Réalisation d'un doublet géothermique Rapport de fin de travaux



REDACTION		DIFFUSION	
Rédigé par	Document	Rapport de fin de travaux.doc	
C.MENARD	Nombre de pages	30	
	Diffusion le	31 Mai 2016	





**Conseil Régional Centre Val de Loire**  
Direction des Lycées et de l'Action Educative  
9 rue Pierre Lentin  
45 041 Orléans cedex 1

Interlocuteur :  
Mme Danielle LEBON  
Mail : [Danielle.LEBON@regioncentre.fr](mailto:Danielle.LEBON@regioncentre.fr)



**Utilities Performance**  
26 rue du Pont Cotelle  
45100 ORLEANS

Interlocuteur :  
Mme Camille MENARD  
Mail : [c.menard@utilities-performance.com](mailto:c.menard@utilities-performance.com)  
Tél : 02 38 45 42 42



*Fondateurs de Up*

## Sommaire

<b>1. RAPPEL DU CONTEXTE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. LOCALISATION DES FORAGES.....</b>	<b>4</b>
<b>3. CHRONOLOGIE DES TRAVAUX RÉALISÉS .....</b>	<b>8</b>
3.1. TRAVAUX DE FORAGE .....	8
3.2. REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE .....	9
3.3. OBSERVATIONS GÉOLOGIQUES .....	12
3.3.1. Forage de pompage F1.....	12
3.3.2. Forage de rejet F2 .....	13
3.1. OBSERVATIONS HYDROGÉOLOGIQUES .....	16
3.1.1. Forage de rejet .....	16
3.1.2. Forage de pompage .....	19
3.1.3. Qualité de l'eau .....	22
<b>4. COMblement DES FORAGES EN CAS D'ABANDON DU PROJET .....</b>	<b>26</b>
4.1. COMblement DU FORAGE DE POMPAGE F1 .....	26
4.2. COMblement DU FORAGE DE REJET F2.....	26
<b>5. CONCLUSIONS ET PRÉCONISATIONS .....</b>	<b>27</b>

## Figures

Figure 1 : Plan de localisation sur fond IGN 1/25 000 (Source : Géoportail – Avril 2015) .....	5
Figure 2 : Plan de localisation sur fond cadastral (Source : Géoportail – Avril 2016) .....	6
Figure 3 : Localisation des deux forages (Source : Géoportail – Avril 2016) .....	7
Figure 4 : Coupe géologique et technique de l'ouvrage de pompage (Source : GESFOR – Avril 2016) .....	14
Figure 5 : Coupe géologique et technique de l'ouvrage de rejet (Source : GESFOR – Avril 2016).....	15
Figure 6 : Interprétation de l'essai par paliers .....	17
Figure 7 : Évolution du rabattement et du débit en fonction du temps .....	18
Figure 8 : Évolution du niveau dynamique en fonction du temps .....	18
Figure 9 : Interprétation de l'essai de longue durée (Source : Aquifer Test – décembre 2015).....	19
Figure 10 : Évolution du rabattement et du débit en fonction du temps .....	20
Figure 11 : Évolution du niveau dynamique en fonction du temps .....	20
Figure 12 : Interprétation de l'essai de longue durée (Source : Aquifer Test – décembre 2015).....	21
Figure 13 : Détails de la classification « énergie ».....	22
Figure 14 : Classification « énergie » suivant les altérations associées à l'usage .....	23

## Tableaux

Tableau 1 : Coordonnées géographiques prévisionnelles des forages .....	4
Tableau 2 : Résultats d'analyse sur l'ouvrage de pompage .....	24

## 1. RAPPEL DU CONTEXTE

Le présent dossier rend compte des travaux de création de deux nouveaux forages constituant un doublet géothermique. Ces deux ouvrages sont destinés à assurer les besoins en chauffage des bâtiments du Lycée Rabelais sis Quai Danton à Chinon (37).

Ces deux ouvrages portent les identifiants F1 (pompage) 1 et F2 (rejet) (identifiants BSS en cours d'obtention). L'eau captée est issue de la Craie du Séno-Turonien (Nappe de la Craie) et y sera réinjectée après usage géothermique.

**Les ouvrages ont été télédéclarés selon l'arrêté du 25 juin 2015 relatif à la géothermie de minime importance.**

## 2. LOCALISATION DES FORAGES

Le Lycée Rabelais est localisé sur la commune de Chinon (Indre-et-Loire - 37), 28 quai Danton. Les **Figures 1 et 2** précisent la localisation du site.

Les forages sont situés dans l'emprise du lycée.

**Tableau 1 : Coordonnées géographiques prévisionnelles des forages**

Identifiant BSS	X Lambert 93	Y Lambert 93	Z NGF (m)	Section	Parcelle
F1 (Pompage)	490664	6677111	33.1 m	BL	450
F2 (Rejet)	490530	6677292	33.1 m	BL	450



Figure 1 : Plan de localisation sur fond IGN 1/25 000 (Source : Géoportail – Avril 2015)

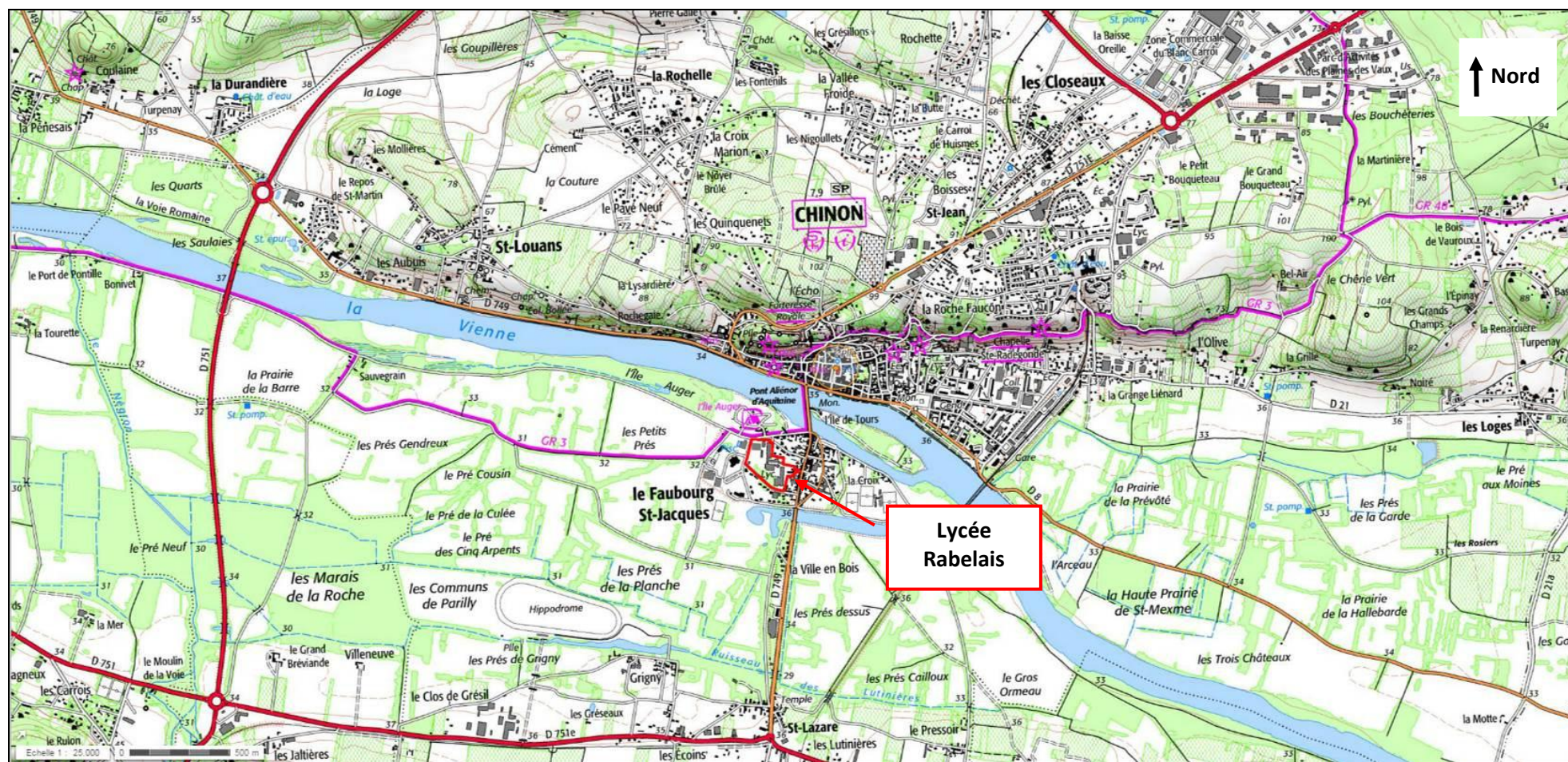




Figure 2 : Plan de localisation sur fond cadastral (Source : Géoportail – Avril 2016)

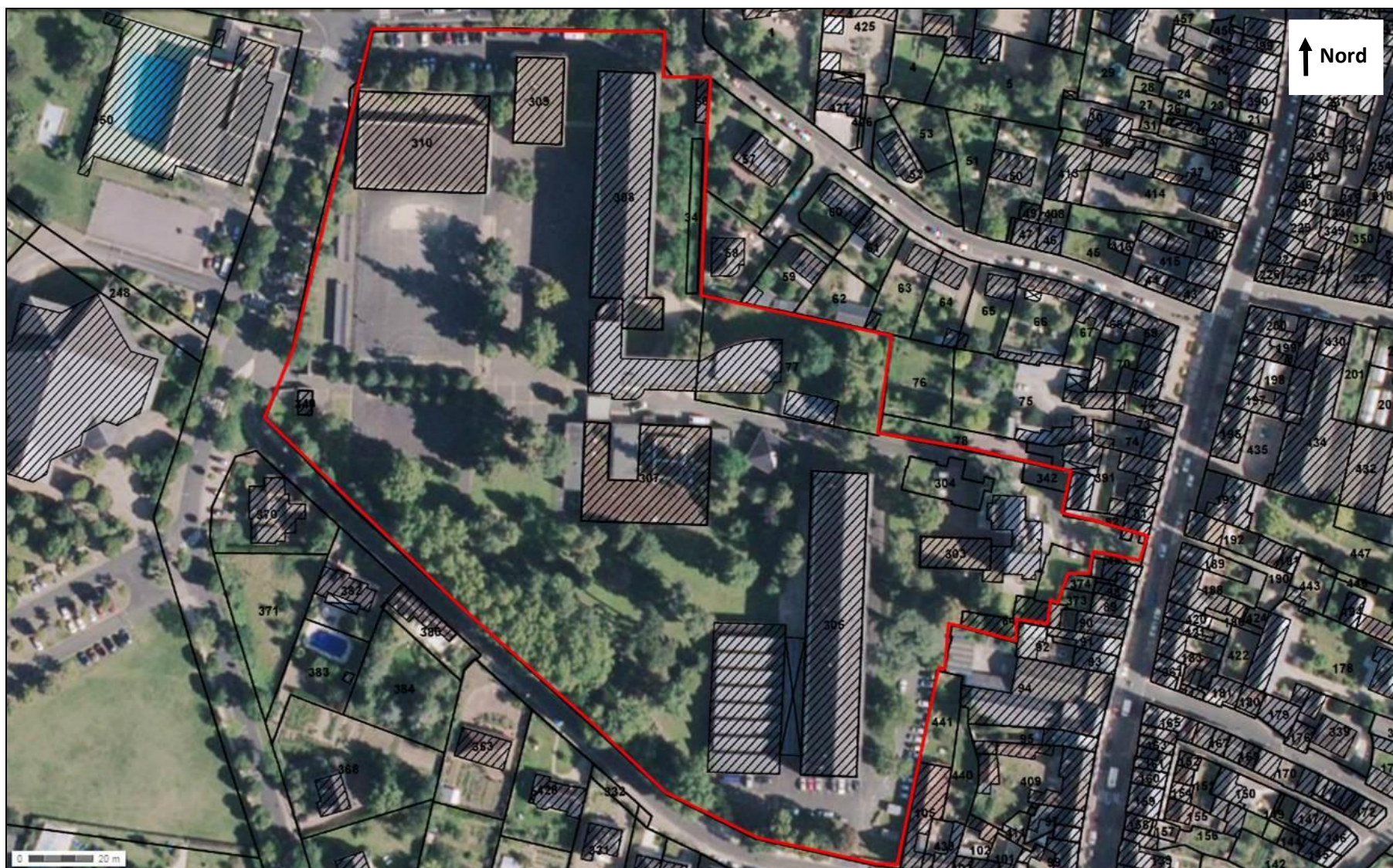
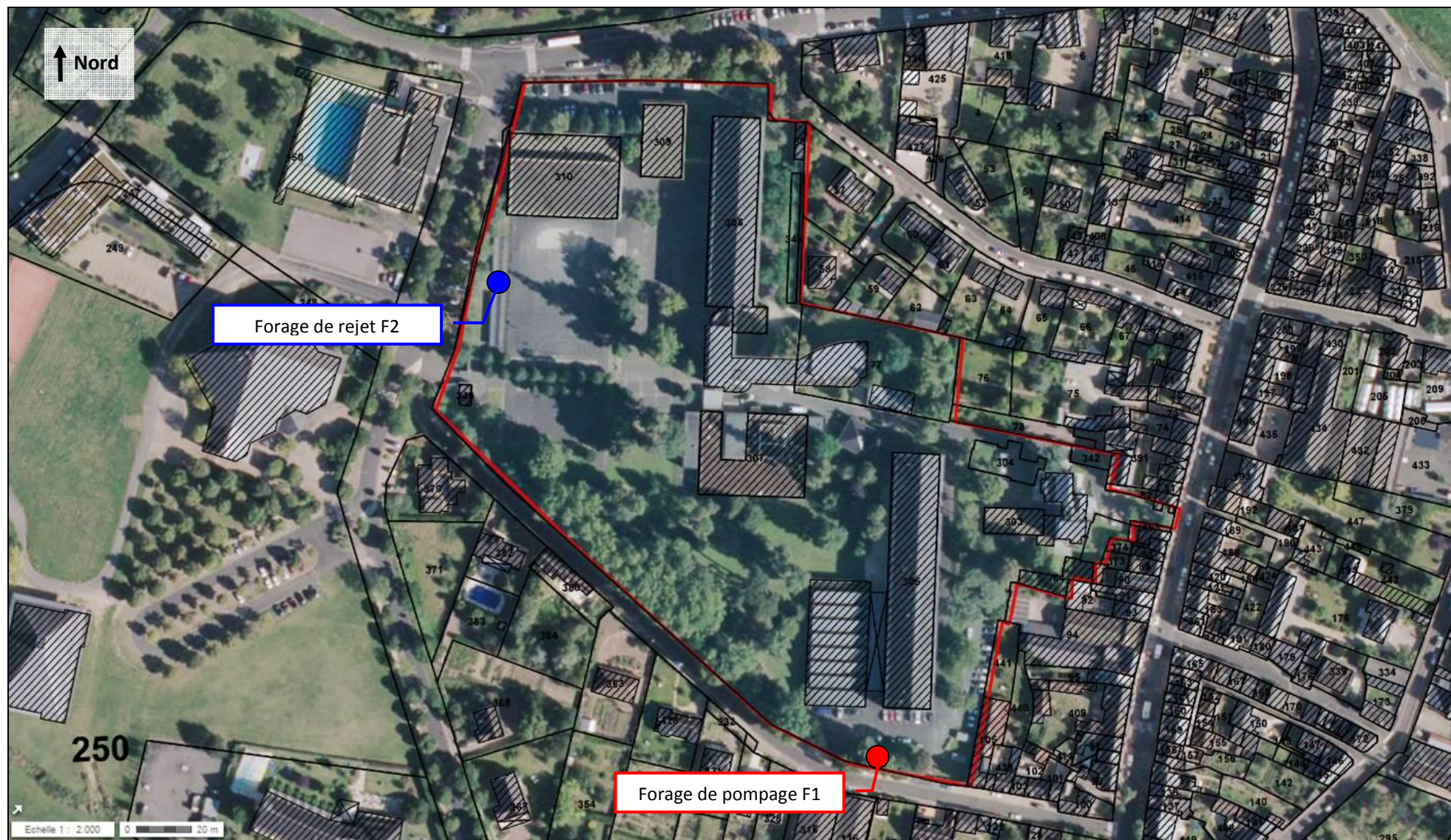




Figure 3 : Localisation des deux forages (Source : Géoportail – Avril 2016)





### 3. CHRONOLOGIE DES TRAVAUX RÉALISÉS

---

#### 3.1. Travaux de forage

##### Lundi 04/04/2016 :

Point sur site avec M. Willefert, gestionnaire du lycée  
Installation du chantier

##### Mardi 05/04/2016 :

Foration des alluvions du forage de rejet (alluvions sur 8 m)  
Tubage et cimentation  
Attente de prise pendant 48h

##### Mercredi 06/04/2016 :

Déplacement des machines sur le forage de pompage (alluvions sur 8 m)  
Foration des alluvions du forage de pompage (alluvions sur 8 m)  
Tubage

##### Jeudi 07/04/2016 :

Cimentation du forage de pompage  
Attente de prise pendant 48h  
Déplacement des machines vers le forage de rejet  
Début de la foration de la partie aquifère sur le forage de rejet

##### Vendredi 08/04/2016

Fin de la foration de la partie aquifère jusqu'aux marnes à Ostracées  
Soufflage dans le trou nu  
Tubage  
Gravillonnage

##### Samedi 09/04/2016

Air Lift (4h)

##### Lundi 11/04/2016 :

Pompage de nettoyage  
Essais par paliers d'une heure non enchainés

##### Mardi 12/04/2016

Début de l'essai de longue durée sur le forage de rejet  
Foration du forage de pompage (8-30 m)  
Comblement des 3 derniers mètres en raison de venues de sables dans les marnes grises

##### Mercredi 13/04/2016

Tubage et gravillonnage du forage de pompage  
Air Lift et pompage de nettoyage

##### Jeudi 14/04/2016

Pompage-réinjection



### 3.2. Reportage photographique

Le reportage photographique suivant présente l'avancée du chantier :



**Photo 1 : Avant-trous à la pelle mécanique (rejet)**



**Photo 2 : Benne à boue**



**Photo 3 : Tubage en acier et foration de la partie aquifère (rejet)**



**Photo 4 : Mise en place du tubage en PVC (rejet)**





Photo 5 : Forage de pompage après cimentation des alluvions



Photo 6 : Foration de la partie aquifère (forage de pompage)



Photo 7 : Essai de pompage dans l'ouvrage de rejet



Photo 8 : Pompage-réinjection (ouvrage de pompage)



Photo 9 : Pompage-réinjection (ouvrage de pompage)





**Photo 10 : forage de pompage en fin de travaux**



**Photo 11 : forage de rejet en fin de travaux**

### 3.3. Observations géologiques

La réalisation de l'ouvrage de pompage a eu lieu du 11 au 13 avril 2016.

#### 3.3.1. *Forage de pompage F1*

##### 3.3.1.1. *Coupe géologique*

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

- De 0 à 1 m : Remblais/terre végétale ;
- De 1 à 6 m : Gravier brun, granulométrie millimétrique ;
- De 6 à 8 m : Gravier brun, granulométrie centimétrique ;
- De 8 à 14 m : Craie blanche à silex ;
- De 14 à 26 m : Craie marneuse blanche ;
- De 26 à 31 m : Marnes gris/bleu.

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

- De 0 à 1 m : Remblais/terre végétale ;
- De 1 à 8 m : Alluvions anciennes ;
- De 8 à 26 m : Craie du Turonien;
- De 26 à 31 m : Marnes à Ostracées du Cénomanién.

##### 3.3.1.2. *Coupe technique*

Un soufflage a été réalisé dans le trou nu avant le tubage. Ce soufflage a révélé la présence de venues de sables gris/bleu caractéristiques du niveau cénomanién. Il a alors été décidé d'isoler totalement les terrains correspondants pour éviter toute venue de sable dans le forage.

Suite à ces éléments, la coupe technique a été adaptée pour optimiser la productivité de l'ouvrage :

- Foration Ø 445 mm de 0 à -8 mètres et mise en place d'un tubage acier Ø 323,9 mm de +0,5 à -8 mètres, cimenté à l'extrados ;
- Foration Ø 311 mm de 8 à 30 mm et mise en place d'un tube PVC 178/195 mm entre 8 et 28 m :
  - Plein de 0 à 8 m/sol, cimenté à l'extrados entre 0 et -4 m puis mise en place de billes d'argiles entre -4 et -4,5 m ;
  - Crépiné de -8 à -25 m/sol à ouverture horizontale, (slot 2 mm, gravier 4-6 mm à l'extrados entre 4,5 et 25 m) ;
  - Plein de -25 à -28 m/sol, gravier 4-6 mm à l'extrados ;
  - Comblement du trou foré au ciment entre -28 et -31 m/sol.

La coupe finale est présentée en Figure 4.



### 3.3.2. Forage de rejet F2

La réalisation du forage de rejet a eu lieu du 5 au 8 avril 2016.

#### 3.3.2.1. Coupe géologique

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

- De 0 à 1,5 m : remblais graveleux brun ;
- De 1,5 à 6,7 m : alluvions sableuses brunes ;
- De 6,7 à 11 m : craie jaune à silex ;
- De 11 à 20 m : craie blanche compacte ;
- De 20 à 27 m : craie beige ;
- De 27 à 29 m : craie grise marneuse, points noirs ;
- De 29 à 30 m : calcaire gris/bleu, débris coquilliers ;
- De 30 à 31 m : marnes gris/bleu ;

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

- De 0 à 1,5 m : Remblais anthropiques ;
- De 1,5 à 6,7 m : Alluvions anciennes ;
- De 6,7 à 30 m : Craie du Turonien ;
- Au-delà de 30 m : Marnes à Ostracées du Cénomaniens.

#### 3.3.2.2. Coupe technique

Un soufflage a été réalisé dans le trou nu avant le tubage. Ce soufflage n'a pas révélé la venue de sables. Suite à ces éléments, la coupe technique a été adaptée pour optimiser la productivité de l'ouvrage :

- Foration Ø 445 mm de 0 à -8 mètres et mise en place d'un tubage acier Ø 323,9 mm de +0,5 à -8 mètres, cimenté à l'extrados ;
- Foration Ø 311 mm de 8 à 31 m et mise en place d'un tube PVC 178/195 mm entre 8 et 31 m :
  - Plein de 0 à 8 m/sol, cimenté à l'extrados entre 0 et -4 m puis mise en place de billes d'argiles entre -4 et -4,5 m ;
  - Crépiné de -8 à -28 m/sol à ouverture horizontale, (slot 2 mm, gravier 4-6 mm à l'extrados entre 4,5 et 28 m) ;
  - Plein de -28 à -31 m/sol, gravier 4-6 mm à l'extrados.

La coupe finale est présentée en Figure 5.

**Remarque** : la cimentation annulaire sur les 4 premiers mètres des deux ouvrages sera réalisée lorsqu'une décision aura été prise quant à une éventuelle acidification.

**Figure 4 : Coupe géologique et technique de l'ouvrage de pompage (Source : GESFOR – Avril 2016)**

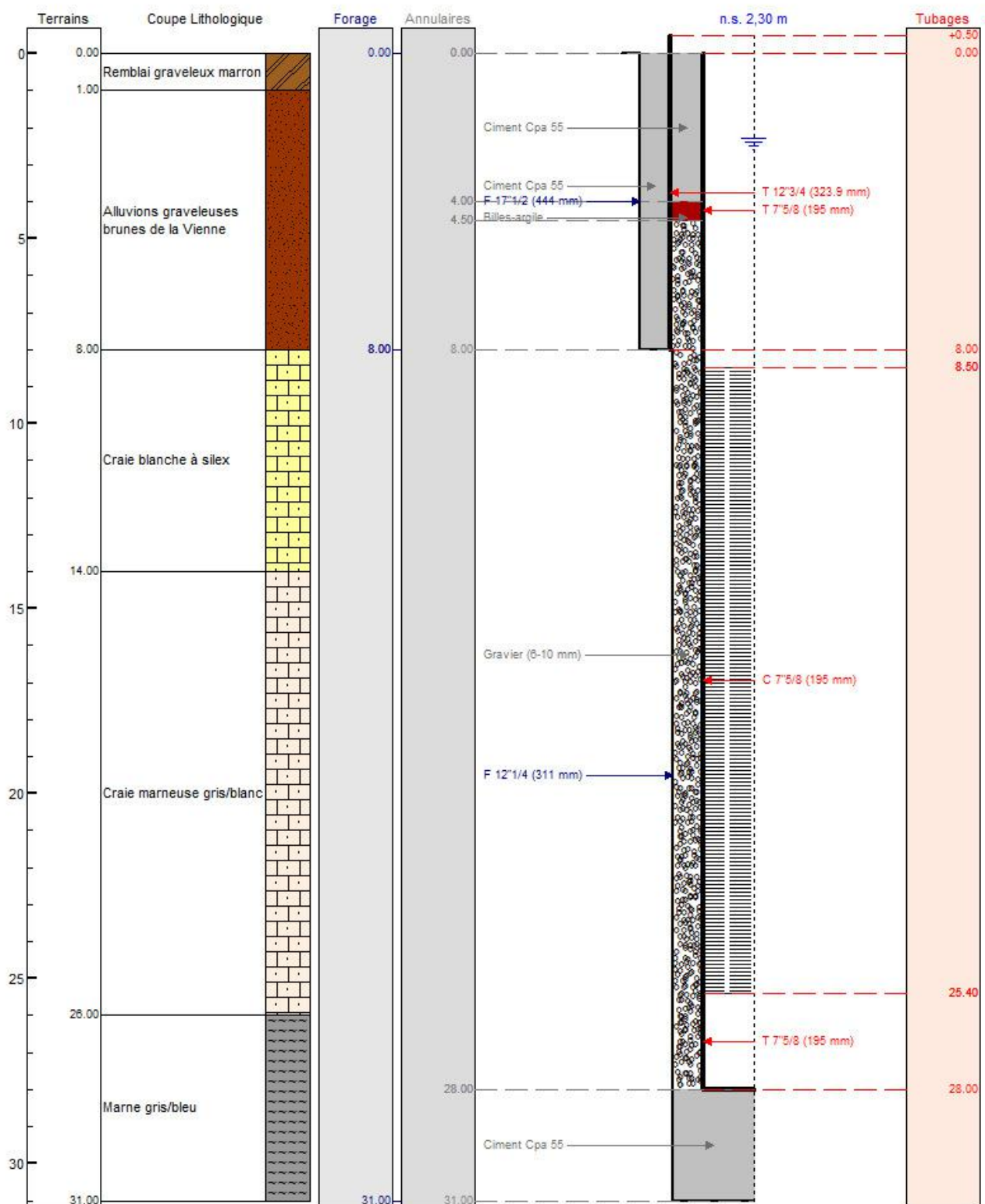
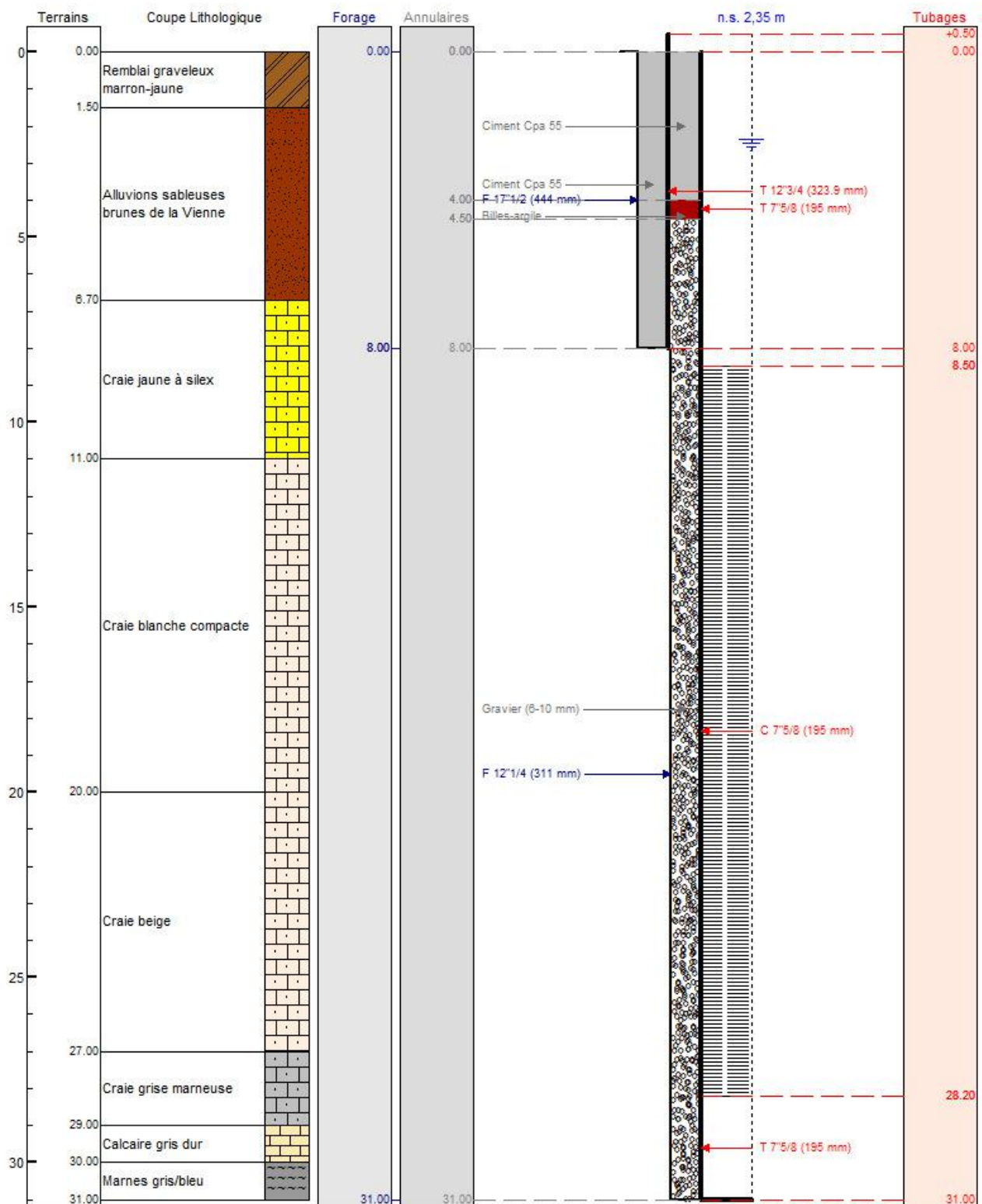




Figure 5 : Coupe géologique et technique de l'ouvrage de rejet (Source : GESFOR – Avril 2016)



## 3.1. Observations hydrogéologiques

### 3.1.1. *Forage de rejet*

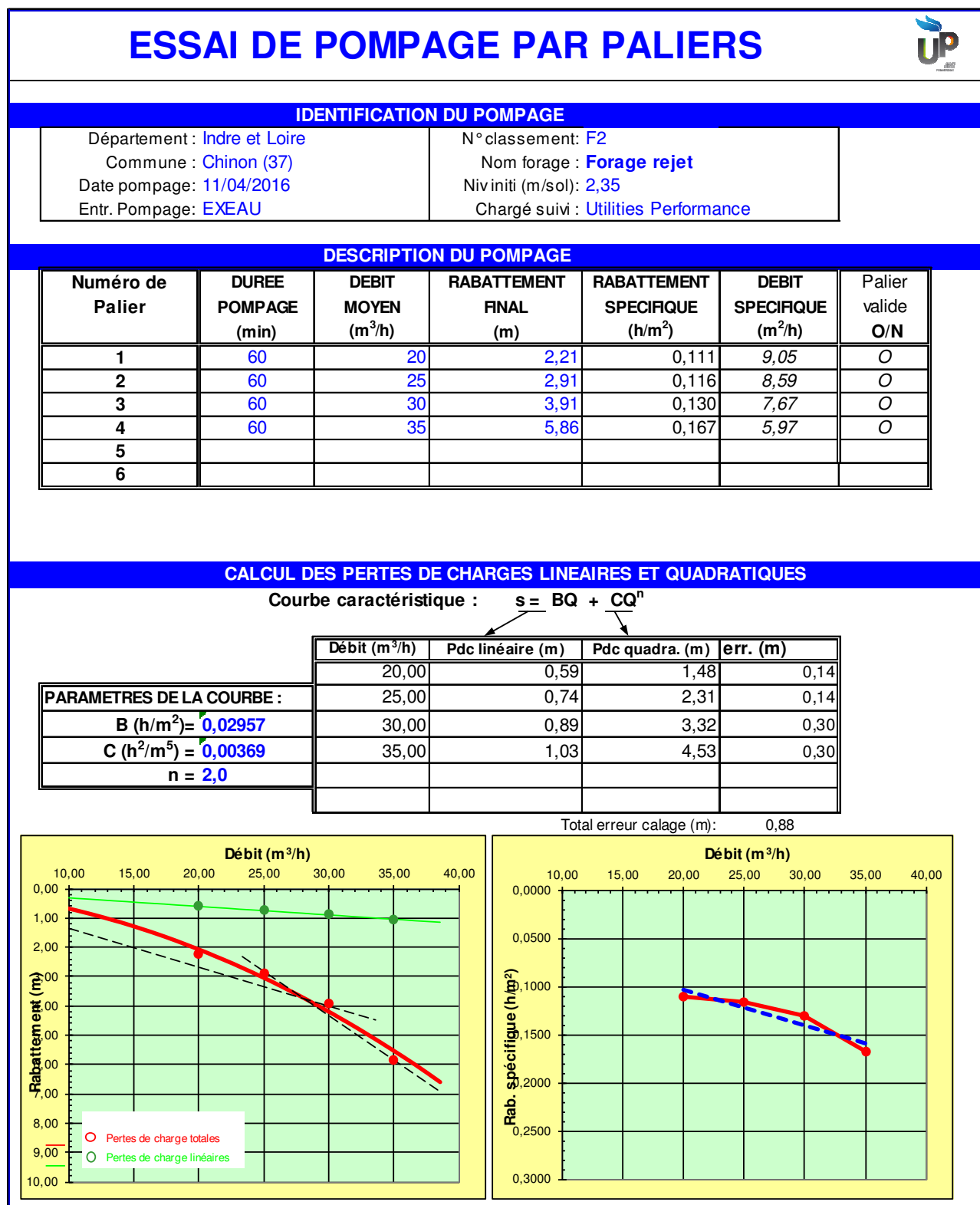
#### 3.1.1.1. *Essai de pompage par paliers de débits*

Un essai de pompage par paliers non enchainés d'1h suivis d'1h de remontée a été réalisé sur le forage F2 (rejet) aux débits de 20, 25, 30 et 35 m<sup>3</sup>/h le 11 avril 2016. Le niveau statique au démarrage de l'essai était de 2,35 m/sol.

Il est à noter l'importance des pertes de charge quadratiques au regard des pertes de charge linéaires. L'essai a permis de déterminer un débit critique d'environ 28 m<sup>3</sup>/h.



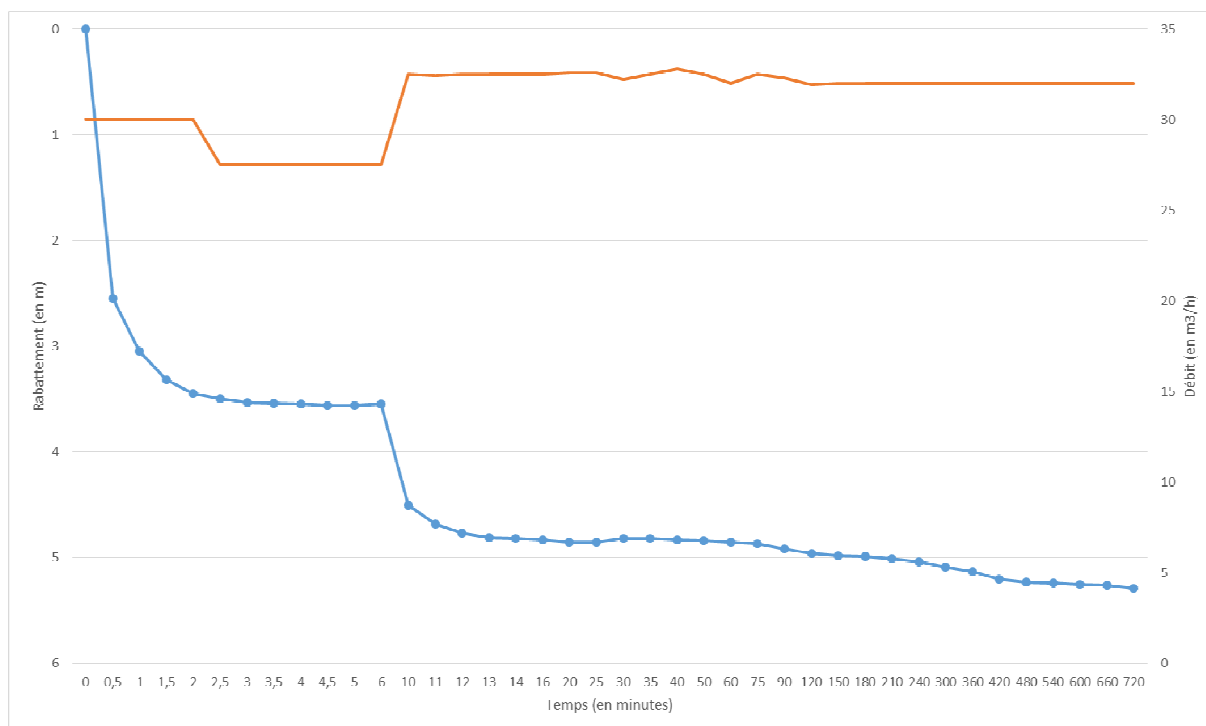
Figure 6 : Interprétation de l'essai par paliers



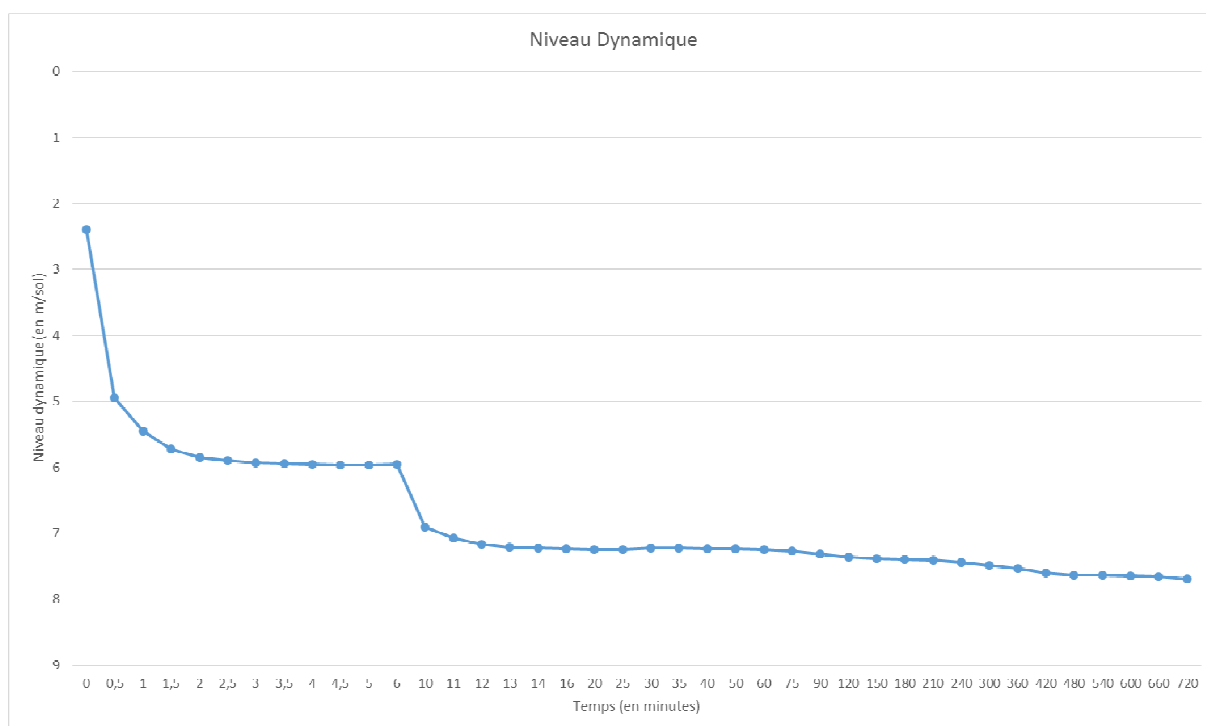
### 3.1.1.2. Essai de pompage de longue durée (12 heures)

À la suite de cet essai, un essai de longue durée de 12h a été ensuite mené le 12 avril 2016 à un débit de 30 m<sup>3</sup>/h environ. À l'issue des 12h de pompage, le niveau dynamique était pseudo-stabilisé à 7,69 m/sol, soit un rabattement de 5,34 m. Le débit spécifique de l'ouvrage (débit / rabattement) est de 5,6 m<sup>3</sup>/h/m. Les légères variations du débit pendant l'essai dues au réglage manuel du débit de pompage par vannage (entre 28 et 32 m<sup>3</sup>/h) montrent une réaction immédiate du niveau dynamique.

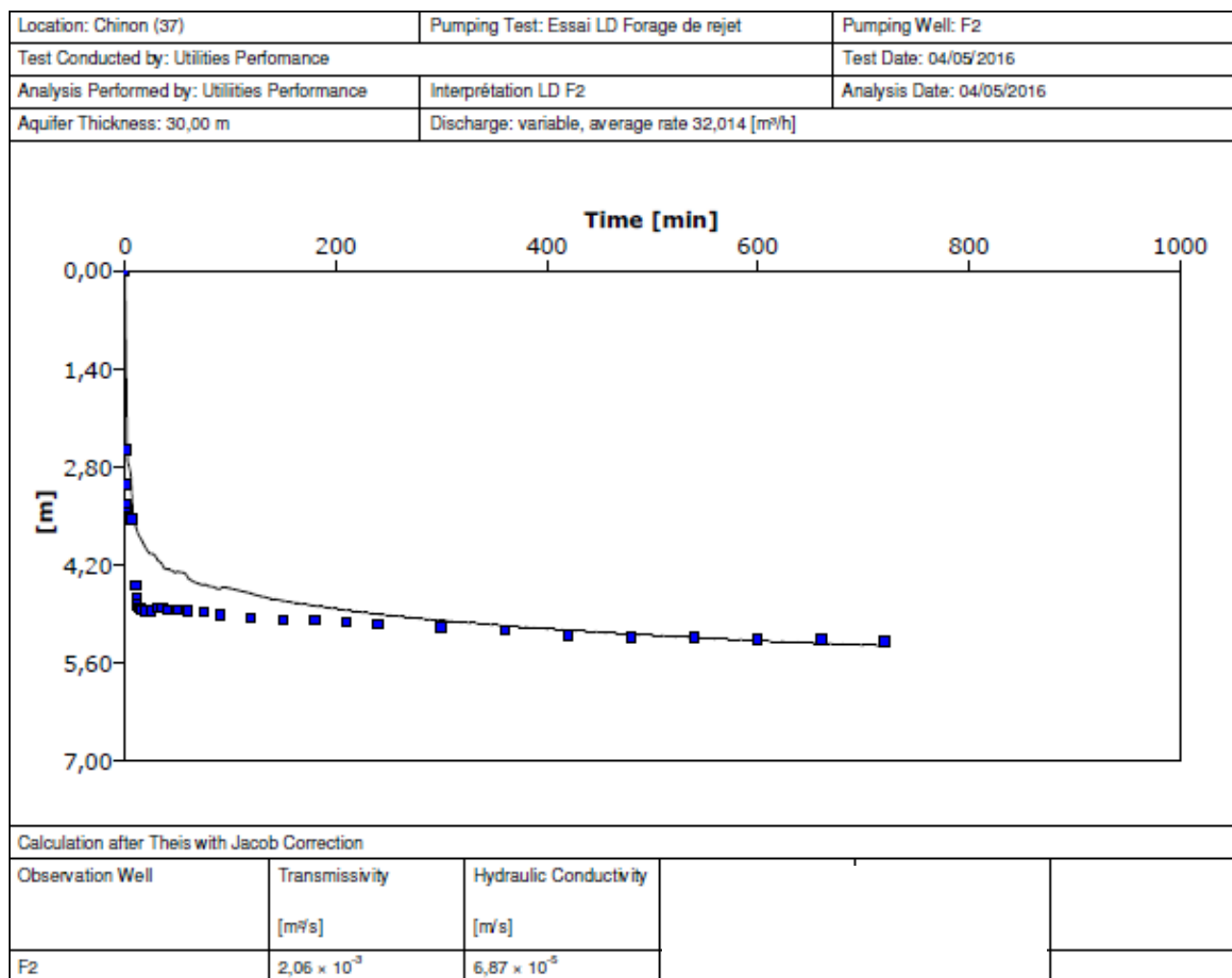
**Figure 7 : Évolution du rabattement et du débit en fonction du temps**



**Figure 8 : Évolution du niveau dynamique en fonction du temps**



**Figure 9 : Interprétation de l'essai de longue durée (Source : Aquifer Test – décembre 2015)**



Les données ont été interprétées à l'aide du logiciel Aquifer Test. Une transmissivité d'environ  $2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  a été obtenue.

### 3.1.2. Forage de pompage

Dès la réalisation du pompage de nettoyage, il est apparu que le forage de pompage n'était pas aussi productif que l'ouvrage de rejet. L'impossibilité d'obtenir un débit supérieur à  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  a conduit au choix de réaliser seulement un essai de pompage-réinjection entre les deux ouvrages, au débit le plus important possible soit  $12 \text{ m}^3/\text{h}$ .

L'essai a été réalisé les 14 et 15 avril 2016. Le niveau statique au début de l'essai était de 2,3 m/sol, le niveau dynamique au bout de 24h de pompage à  $12 \text{ m}^3/\text{h}$  était stabilisé à 8,5 m/sol, soit un rabattement de 6,2 m/sol. Le débit spécifique de l'ouvrage est donc de  $1,9 \text{ m}^3/\text{h/m}$ .

À l'issue de cet essai de 24h, le débit de pompage a été porté à  $14 \text{ m}^3/\text{h}$  pendant 3h. Le niveau dynamique s'est alors pseudo-stabilisé à 16,58 m/sol soit un rabattement de 14,3 m. Le débit spécifique correspondant est de  $0,97 \text{ m}^3/\text{h/m}$ . Ce rabattement est trop important pour que le débit de  $14 \text{ m}^3/\text{h}$  soit acceptable pour l'ouvrage.

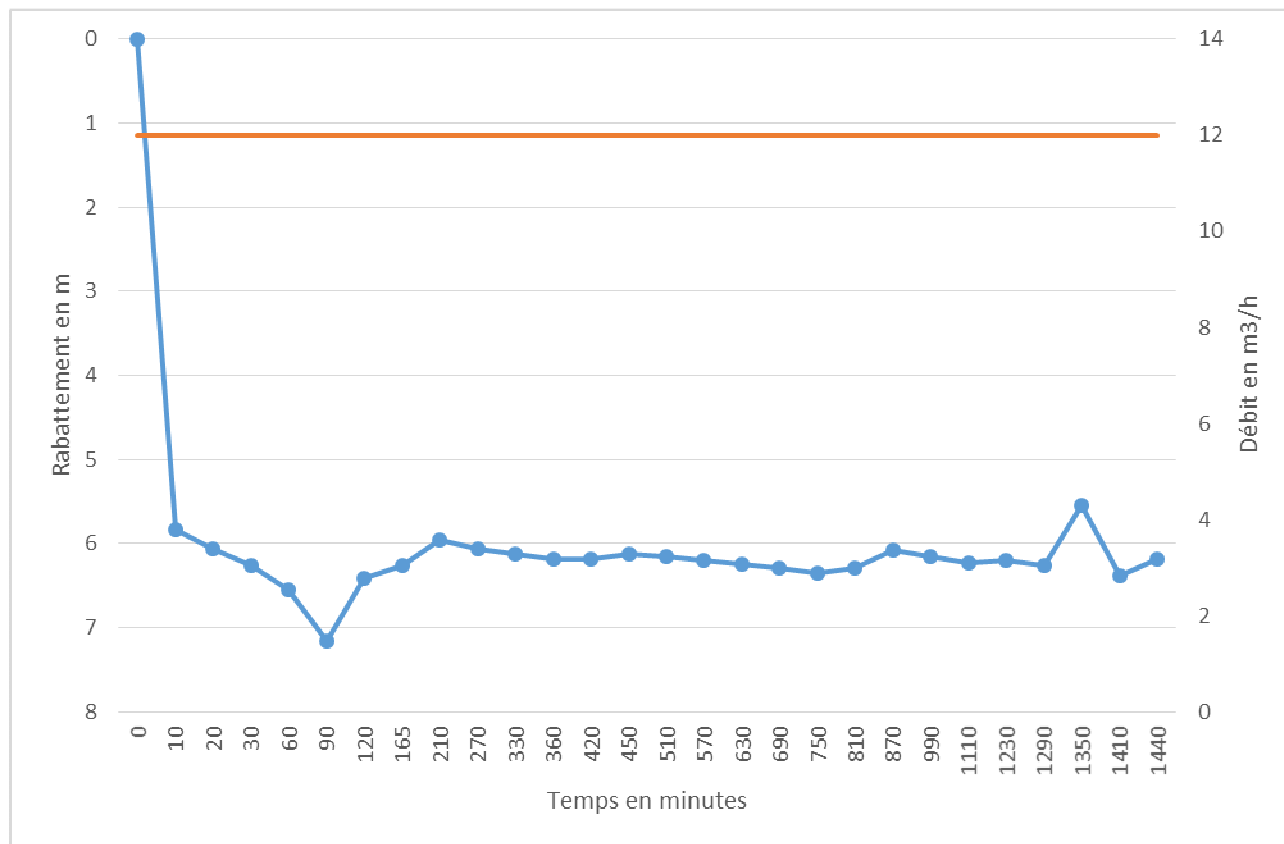
Il est à noter que le comportement de l'ouvrage de rejet lors de l'essai de pompage-réinjection à  $12 \text{ m}^3/\text{h}$  a été positif, la réinjection ayant pu se faire sans augmentation de pression (le niveau dynamique est resté inférieur au niveau du capot de l'ouvrage).

Le débit maximum obtenu dans l'ouvrage de pompage n'a pas permis la réalisation d'essais par paliers du fait de sa trop faible valeur (moins de  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ ). La décision a donc été prise de réaliser directement l'essai

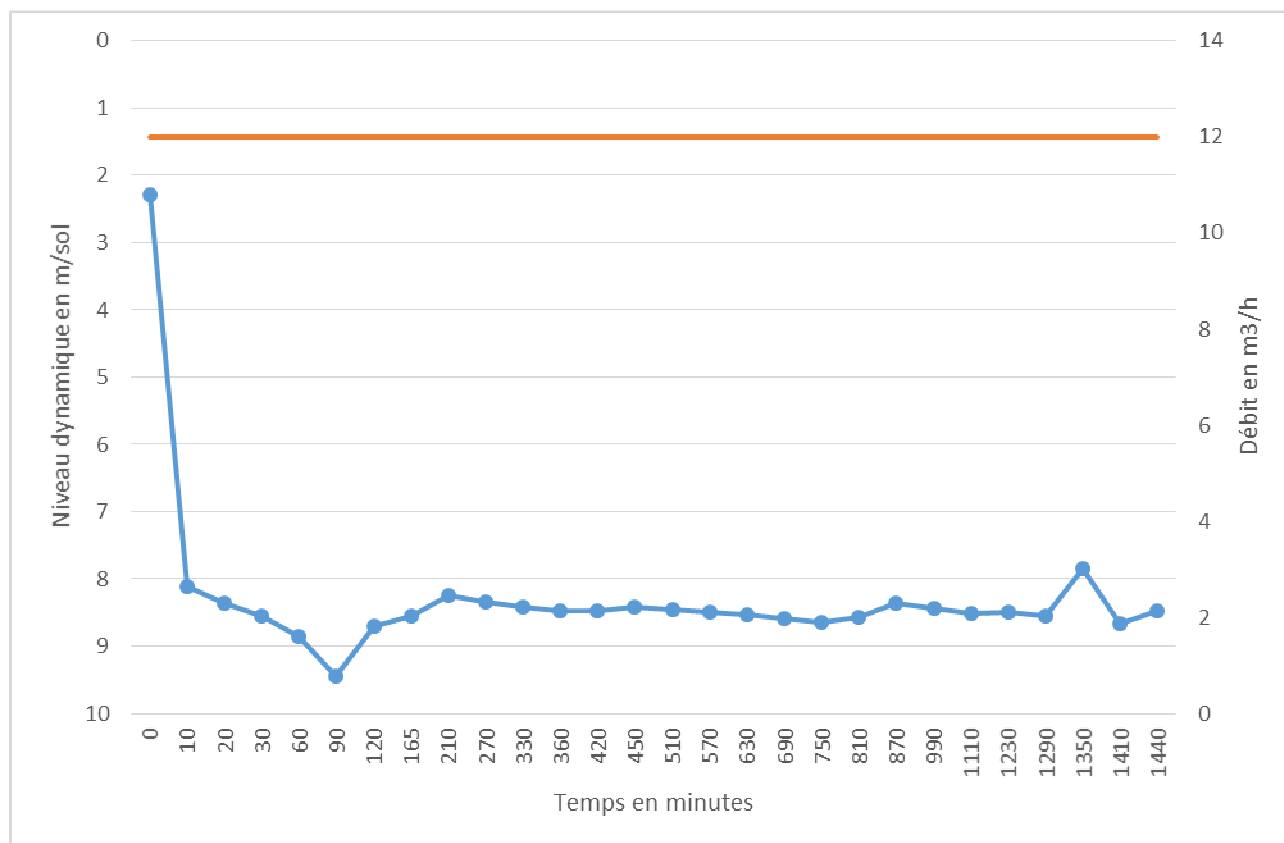


de pompage-réinjection à un débit de 12,2 m<sup>3</sup>/h, déterminé d'après les débits observés lors des opérations de nettoyage.

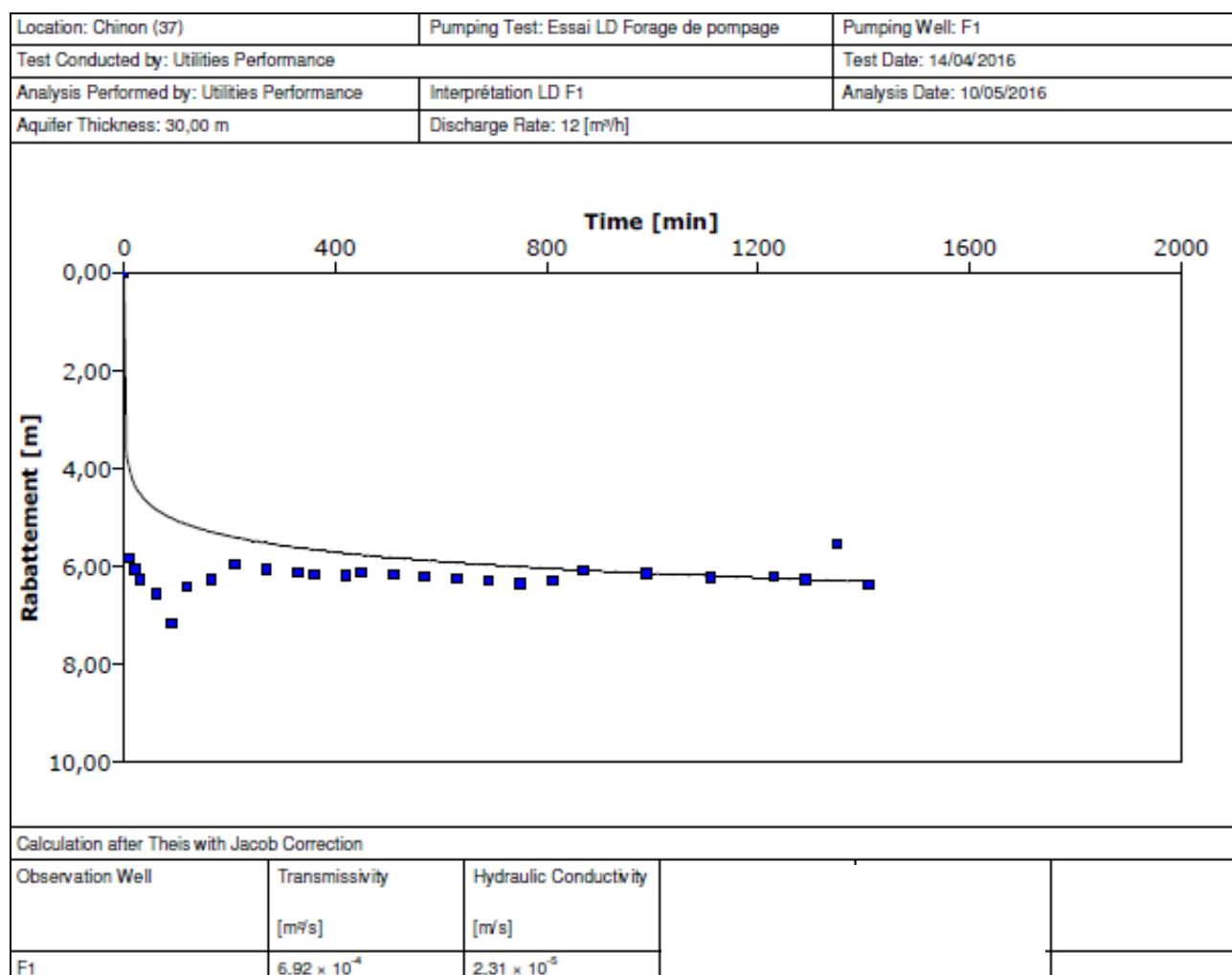
**Figure 10 : Évolution du rabattement et du débit en fonction du temps**



**Figure 11 : Évolution du niveau dynamique en fonction du temps**



**Figure 12 : Interprétation de l'essai de longue durée (Source : Aquifer Test – décembre 2015)**



Les données ont été interprétées à l'aide du logiciel Aquifer Test. Une transmissivité d'environ  $6,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  a été obtenue.






### 3.1.3. Qualité de l'eau

Un prélèvement d'eau a été réalisé dans l'ouvrage de pompage le 14 avril 2016 lors de l'essai de pompage-réinjection afin de déterminer les caractéristiques physico-chimiques de la nappe captée.

Cette analyse a pour objectif de permettre à l'entreprise en charge des installations géothermiques d'adapter les équipements de chauffage aux eaux captées et à leur qualité.






Les résultats obtenus ont été comparés aux valeurs de référence définies dans le SEQ Eau pour l'usage énergie.

Le rapport SEQ EAUX SOUTERRAINES de 2003 est un document proposant des valeurs de référence pour les différents usages autres que l'eau potable selon le code couleur suivant :

Classe	Aptitude pour satisfaire l'usage
Bleu 	Très bonne
Vert 	Bonne
Jaune 	Passable
Orange 	Mauvaise
Rouge 	Inapte à satisfaire l'usage

Cette classification est établie en fonction de trois types d' « altérations » qui décrivent l'usage de l'eau souterraine à des fins énergétiques : la température, la corrosion et la formation de dépôts.

Figure 13 : Détails de la classification « énergie »

Classe	Climatisation / pompes à chaleur	Corrosion	Formation de dépôts
Bleu 	favorable à l'usage énergétique considéré	absence de corrosion	pas de risques de dépôts importants
Vert 	permet l'usage énergétique considéré	corrosion faible	peu de risques de dépôts
Jaune 	usage délicat pour raisons techniques ou économiques	corrosion modérée	risques de dépôts
Orange 	(1)	corrosion moyenne	(1)
Rouge 	(1)	corrosion forte	dépôts très importants

(1) classe non définie.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau utilisée permettent ainsi d'évaluer l'aptitude de l'eau à l'usage « énergie ». Les tableaux d'évaluation sont présentés ci-après.



Figure 14 : Classification « énergie » suivant les altérations associées à l'usage

Altération Température - Usage Climatisation						
Paramètre	Unité	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Température	°C	> 8 et ≤ 12	> 12 et ≤ 15	≤ 8 ou > 15		

Altération Température - Usage Pompes à chaleur						
Paramètre	Unité	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Température	°C	> 15 et ≤ 60	> 8 et ≤ 15	≤ 8 ou > 60		


Altération Corrosion						
Paramètres	Unités	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
CO <sub>2</sub> dissous	mg/l	50		120	200	
O <sub>2</sub> dissous	mg/l	absence ou > 8	> 0 et ≤ 0.1		> 0.1 et ≤ 4	> 4 et ≤ 8
Salinité*	g/l NaCl	0.6		1.5	3	
Conductivité*	μS/cm	1300		3000	6000	
pH		> 9.8	> 7 et ≤ 9.8	≥ 6 et ≤ 7		< 6
Chlorures*	mg/l	150		400	1000	
Sulfates*	mg/l	250		500	1500	
Ferro-bactéries		absence				présence
Bactéries sulfato-réductrices	N/ml	absence	10		100	
Sulfures	mg/l HS <sup>-</sup>	0.1		8	50	
Eh (potentiel d'oxydoréduction)	mV	≤ -600 ou > 0		> -600 et ≤ -500	> -500 et ≤ -400	> -400 et ≤ 0

\* au moins l'un des quatre paramètres doit être mesuré. Le choix pourra être effectué en fonction des problématiques locales.

Altération Formation de dépôts						
Paramètres	Unités	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
pH		5.00				
Eh - selon la valeur du pH <sup>(1)</sup>						
pH ≤ 3.5	mV	1500				
3.5 < pH ≤ 9.6		<sup>(1)</sup>				
pH > 9.6		- 800				
O <sub>2</sub> dissous	mg/l	0.10		5.5		
Ferro-bactéries		absence				
Indice saturation - selon la valeur du TAC <sup>(2)</sup>						
TAC < 10°F		0.2		2		
10°F < TAC ≤ 25°F		0.2		1		
TAC > 25°F		0.2		0.5		

(1) Potentiel d'oxydo-réduction Eh = 1330 - 166 pH  
(2) Indice saturation = pHs-pH. Le pHs est le pH d'équilibre ou de saturation après essai au marbre

Le motif  indique dans les tableaux ci-après que le paramètre ne décrit pas la (ou les) classe(s) d'aptitude à l'usage

Le bordereau d'analyse est présenté en annexe 1.

**Tableau 2 : Résultats d'analyse sur l'ouvrage de pompage**

Paramètres	Unités	Mesure	Altération Température (Pompe à chaleur)	Altération Corrosion	Altération Dépôts
Température in situ	°C	14.90			
CO <sub>2</sub> dissous (anhydride carbonique libre)	mg/l	<3			
O <sub>2</sub> dissous	mg/l	12			
Salinité	g/l NaCl	-			
Conductivité in situ	µS/cm	655			
pH in situ	-	7.23			
Chlorures	mg (Cl <sup>-</sup> )/l	24			
Sulfates	mg (SO <sub>4</sub> )/l	30			
Ferro-bactéries	KBE/ml	Absence			
Bactéries sulfato réductrices	KBE/ml	75			
Sulfures	mg/l HS <sup>-</sup>	<0.1			
Eh (Potentiel d'oxydoréduction) in situ	mV	194			
TA (titre alcalimétrique	°F	0			
TAC (Titre alcalimétrique complet)	°F	27			
Turbidité	NFU	3.3			
Titre Hydrotimétrique	°F	37.8			
Équilibre calco-carbonique		7.5			
Ammonium	mg/l	<0.1			
Calcium dissous	mg/l	140			
Magnésium dissous	mg/l	6.9			
Sodium dissous	mg/l	21			
Potassium dissous	mg/l	4			
Nitrates	mg/l	38			
Nitrites	mg/l	<0.05			
Orthophosphates	mg/l	0.43			
Aluminium dissous	mg/l	<0.030			
Arsenic	mg/l	0.007			
Cuivre dissous	mg/l	<0.005			
Fer total	mg/l	0.13			
Manganèse total	mg/l	0.12			
Zinc dissous	mg/l	<0.050			
Indice Hydrocarbures	mg/l	<0.05			
BTEX	µg/l	<0.5			
HAP	µg/l	<0.02			



- **Altération Température – Usage Pompe à chaleur :**

La température de l'eau a été mesurée in-situ à une valeur de 14,9 °C. La température de l'eau captée est normalement compatible avec l'usage géothermique considéré.

- **Altération Corrosion :**

Les paramètres analysés traduisent une bonne aptitude des eaux captées à l'usage géothermique. Le pH a été mesuré à 7,23 in situ.

**Remarque :** la mesure d'oxygène dissous réalisée in situ était de 5,85 mg/l, ce qui traduirait un risque de corrosion fort. L'analyse en laboratoire indique 12 mg/l, ce qui traduit une bonne aptitude des eaux captées à l'usage géothermique. Une analyse complémentaire de ce paramètre devra donc être réalisée au moment de la mise en service pour ce paramètre.

- **Altération Formation de dépôts :**

Les paramètres analysés traduisent en revanche une bonne aptitude des eaux captées à l'usage géothermique.

Concernant le risque de dépôts, il existe un risque notable lié à la concentration en Manganèse et en Fer avec des concentrations mesurées de 0,12 mg/l et 0,13 mg/l.

**Remarque :** D'après les analyses réalisées en avril 2016, les risques de dépôt et de corrosion liés aux concentrations en manganèse et en fer totaux notamment sont non-négligeables. Il appartient à l'entreprise en charge des installations géothermiques de s'assurer de la compatibilité des équipements prévus avec la qualité de l'eau captée et de sa possible évolution, et d'adapter le cas échéant les installations géothermiques.

Une analyse d'eau plus complète pourra être réalisée dans le cas où d'autres paramètres physico-chimiques seraient nécessaires pour définir convenablement les équipements géothermiques.

Les équipements géothermiques devront être définis par l'installateur en tenant compte des résultats d'analyse obtenus. Toute analyse supplémentaire nécessaire au dimensionnement de la PAQ par l'installateur devra être réalisée à cette occasion.

## 4. COMBLEMENT DES FORAGES EN CAS D'ABANDON DU PROJET

En cas d'abandon du projet, nous préconisons le comblement des deux ouvrages dans les règles de l'Art, selon la coupe suivante :

### 4.1. Comblement du forage de pompage F1

En cas d'abandon, le forage devra être comblé de la façon suivante :

- De 0 à -7,5 m/sol : ciment
- De -7,5 à -8,5 m/sol : argile gonflante
- De -8,5 à -28 m/sol : gravier de diamètre 6-10 mm.

Les tubages seront laissés en place, l'espace entre les deux tubes étant comblé par du ciment.  
En surface, le tubage sortant du sol sera arasé, la zone d'intervention sera nettoyée et les matériaux excédentaires évacués.

### 4.2. Comblement du forage de rejet F2

En cas d'abandon, le forage devra être comblé de la façon suivante :

- De 0 à -7,5 m/sol : ciment
- De -7,5 à -8,5 m/sol : argile gonflante
- De -8,5 à -31 m/sol : gravier de diamètre 6-10 mm.

Les tubages seront laissés en place, l'espace entre les deux tubes étant comblé par du ciment.  
En surface, le tubage sortant du sol sera arasé, la zone d'intervention sera nettoyée et les matériaux excédentaires évacués.



## 5. CONCLUSIONS ET PRÉCONISATIONS

Profonds de 28 m, le forage F1 capte les eaux de la Craie du Turonien tandis que ces dernières pourront être réinjectées dans l'ouvrage F2 (profond de 31 m) après usage géothermique.

De légères modifications ont été apportées aux coupes techniques par rapport aux coupes prévisionnelles puisque la base des alluvions a été reconnue à 8 m pour le forage F1 (pompage) et 6,7 m pour le forage F2 (rejet). En conséquence, le tubage de soutènement de chaque forage et la cimentation à l'extrados ont été réalisées jusqu'à 8 m/sol sur les deux ouvrages. Une cimentation de l'espace annulaire sur les 4 premiers mètres sera en outre réalisée dès qu'une décision aura été prise sur la réalisation ou non d'une acidification.

Du fait de l'arrivée de sables en provenance du fond de l'ouvrage F1, la décision a été prise de combler le trou de 28 à 31 m. Cette mesure a permis de stopper les venues de sable. Le forage F1 est donc profond de 28 m alors que le forage F2 a été équipé à 31 m de profondeur, au niveau du toit des Marnes à Ostracées.

D'autre part, en raison des importants rabattements observés lors des essais de pompage sur F1 (chute brutale du niveau dynamique au-delà de 15 m<sup>3</sup>/h, les essais par paliers n'ont pu être réalisés sur cet ouvrage. Un essai de pompage-réinjection de 24 h a donc directement été réalisé entre les deux ouvrages et a permis de suivre l'évolution du niveau dynamique sur l'ouvrage de pompage ainsi que l'aptitude de l'ouvrage de rejet à la réinjection.

Les essais de pompage menés en avril 2016 ont permis de confirmer l'aptitude du forage F1 à capter les eaux de l'aquifère de la craie au débit d'environ 12 m<sup>3</sup>/h avec un rabattement maximal d'environ 6,2 m. De même que le forage F2 est apte à réinjecter les eaux captées selon un débit de 12 m<sup>3</sup>/h, aucune augmentation de pression dans l'ouvrage de rejet n'ayant été constatée durant l'essai. Ces données ont été obtenues lors d'essais réalisés en avril 2016, soit en période de hautes eaux. Il est donc possible que le niveau dynamique en pompage chute en période de basses eaux ou en cas de réalisations de nouveaux captages dans l'environnement proche du lycée. On notera cependant que le chauffage fonctionnera principalement en hiver soit en période de hautes eaux.

**Ce débit de 12 m<sup>3</sup>/h est inférieur au débit visé (60 m<sup>3</sup>/h). Il pourrait être augmenté en procédant à une acidification sur les ouvrages. Cette opération risquerait cependant de remobiliser les sables fins observés sur F1 et qui avaient pu être isolés par la cimentation du fond de l'ouvrage. Cette opération complémentaire est chiffrée à 31 000 euros HT, maîtrise d'œuvre comprise. Elle pourrait se tenir pendant les vacances d'été 2016.**

**D'après les analyses d'avril 2016, les risques de dépôt et de corrosion liés à la concentration en manganèse et en fer notamment sont non-négligeables. Il appartient à l'entreprise en charge des installations géothermiques de s'assurer de la compatibilité des équipements prévus avec la qualité de l'eau captée et de sa possible évolution, et d'adapter le cas échéant les installations géothermiques. Une analyse d'eau plus complète devra être réalisée dans le cas où d'autres paramètres physico-chimiques seraient nécessaires pour définir convenablement les équipements géothermiques.**

**L'assurance Aquapac est présentée en Annexe 2, l'installateur devra se conformer à ses prescriptions avant et pendant la mise en fonctionnement des ouvrages ainsi que l'exploitant lors de l'utilisation du doublet.**

**Il conviendra également de s'assurer par un suivi régulier que la qualité de l'eau au droit du lycée n'évolue pas, de manière à ne pas compromettre le bon fonctionnement des installations. Une analyse des paramètres Fer dissous, oxygène dissous et turbidité en sortie de l'ouvrage de pompage deux fois par**

an ainsi qu'avant la mise en service est ainsi recommandée, en plus des analyses demandées dans le cadre de l'assurance Aquapac. Une mesure du Fouling Index (indice de colmatage) préalablement aux travaux d'équipement est également recommandée pour le dimensionnement des installations.

Des précautions devront être prises en vue de l'exploitation pour éviter l'oxygénation de l'eau ainsi que l'accumulation de dépôts (par exemple, filtre auto-nettoyant, variateur de vitesse sur la pompe, fonctionnement en limitant la fréquence des démarrages et arrêts de la pompe, ne pas dépasser le débit étudié de 12 m<sup>3</sup>/h, gérer les intersaisons au moyen de purges avant le redémarrage hivernal...).

Ces dispositifs devront être définis et validés par l'installateur au vu de la qualité de l'eau et de l'exploitation qui sera faite des ouvrages.

Sous ces conditions, et sous réserve de la validation technique d'un installateur agréé, le doublet géothermique pourra être exploité à un débit maximal de 12 m<sup>3</sup>/h.

En cas d'abandon du projet, nous préconisons le comblement des ouvrages selon les règles de l'Art.

# Annexes



## **Annexe 1 – Analyse d’eau prélevée le 14 avril 2016 – Laboratoire Wessling**

Laboratoire WESSLING, 40 rue du Ruisseau, 38070 Saint-Quentin-Fallavier Cedex  
Utilities Performance  
Madame Camille MENARD  
26, Rue du Pont Cotelte  
45100 ORLEANS

Rapport d'essai n°:	ULY16-004580-2
Commande n°:	ULY-03151-16
Interlocuteur:	C. Delente
Téléphone:	33 474 999 629
eMail:	Caroline.Delente@wessling.fr
Date:	06.05.2016

## Rapport d'essai

**ULY-0750-1-16.**

**Site : Lycée Rabelais**

**Ce rapport est une version corrigée. Il annule et remplace le rapport d'essai n°ULY16-004580-1 que nous vous demandons de détruire afin d'éviter toute utilisation malencontreuse.**

Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis à l'essai, sous réserve du flaconnage reçu (hors flaconnage Wessling), du respect des conditions de conservation des échantillons jusqu'au laboratoire d'analyses et du temps imparti entre le prélèvement et l'analyse préconisée dans les normes suivies.

Les méthodes couvertes par l'accréditation EN ISO 17025 sont marquées d'un A dans le tableau récapitulatif en fin de rapport au niveau des normes.

Les résultats obtenus par ces méthodes sont accrédités sauf avis contraire en remarque.

La portée d'accréditation COFRAC n°1-1364 essais est disponible sur [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr) pour les résultats accrédités par les laboratoires Wessling de Lyon.

Les essais effectués par le laboratoire de Paris sont accrédités par le COFRAC sous le numéro 1-5578.

Les essais effectués par les laboratoires allemands sont accrédités par le DAKKS sous le numéro D-PL-14162-01-00 ([www.as.dakks.de](http://www.as.dakks.de)).

Les essais effectués par le laboratoire hongrois de Budapest sont accrédités par le NAT sous le numéro NAT-1-1398 ([www.nat.hu](http://www.nat.hu)).

Les essais effectués par le laboratoire polonais de Krakow sont accrédités par le PCA sous le numéro AB 918 ([www.pca.gov.pl](http://www.pca.gov.pl)).

Ce rapport d'essai ne peut-être reproduit que sous son intégralité et avec l'autorisation des laboratoires WESSLING (EN ISO 17025).

Les laboratoires WESSLING autorisent leurs clients à extraire tout ou partie des résultats d'essai envoyés à titre indicatif sous format excel uniquement à des fins de retraitement, de suivi et d'interprétation de données sans faire allusion à l'accréditation des résultats d'essai.

La conclusion ne tient pas compte des incertitudes et n'est pas couverte par l'accréditation.

Rapport d'essai n°.: ULY16-004580-2  
 Projet : ULY-0750-1-16.  
 Site : Lycée Rabelais

Laboratoires WESSLING S.A.R.L.  
 Z.I. de Chesnes Tharabie · 40 rue du Ruisseau  
 BP 50705 · 38297 Saint-Quentin-Fallavier  
 Tél. +33 (0)4 74 99 96 20 · Fax +33 (0)4 74 99 96 37  
 labo@wessling.fr · www.wessling.fr

**St Quentin Fallavier, le 06.05.2016**

**N° d'échantillon**

**16-057583-01**

**Désignation d'échantillon**

**Unité**

**Forage de  
pompage**

Potentiel redox avant prélèvement	mV E/L	0,12
Sulfure (S) aisément libérable	mg/l E/L	<0,1
o-Phosphate (PO4)	mg/l E/L	0,43
Bactéries sulfato-réductrices	KBE/ml E/L	75
Hydrogène sulfuré (H2S), dissous	mg/l E/L	<0,047

**Analyse physique**

Conductivité [25°C]	µS/cm E/L	670
Résidu sec après filtration	mg/l E/L	400
pH	E/L	7,1
Turbidité	NTU E/L	3,3
Oxygène dissous	mg/l E/L	12

**Paramètres globaux / Indices**

Indice hydrocarbure C10-C40	mg/l E/L	<0,05
Hydrocarbures > C10-C12	mg/l E/L	<0,05
Hydrocarbures > C12-C16	mg/l E/L	<0,05
Hydrocarbures > C16-C21	mg/l E/L	<0,05
Hydrocarbures > C21-C35	mg/l E/L	<0,05
Hydrocarbures > C35-C40	mg/l E/L	<0,05

**Cations, anions et éléments non métalliques**

Titre alcalimétrique complet (TAC)	°F E/L	27
Carbonate (CO3)	mg/l E/L	<10
Alcalinité libre (Titre Alcalimétrique - TA)	°F E/L	0
Dioxyde de carbone agressif	mg/l E/L	<3
Chlorures (Cl)	mg/l E/L	24
Nitrates (NO3)	mg/l E/L	38
Sulfates (SO4)	mg/l E/L	30
Nitrites (NO2)	mg/l E/L	<0,05
Ammonium (NH4)	mg/l E/L	<0,1
Azote ammoniacal (NH4-N)	mg/l E/L	<0,078
Titre hydrotimétrique (dureté)	°fH E/L	37,8

**Préparation d'échantillon**

Minéralisation à l'eau régale	E/L	
-------------------------------	-----	--

**Eléments**

Sodium (Na)	mg/l E/L	21
Magnésium (Mg)	mg/l E/L	6,9
Aluminium (Al)	µg/l E/L	<30
Potassium (K)	mg/l E/L	4
Calcium (Ca)	mg/l E/L	140
Chrome (Cr)	µg/l E/L	<5
Manganèse (Mn)	µg/l E/L	
Nickel (Ni)	µg/l E/L	<10
Cuivre (Cu)	µg/l E/L	<5
Zinc (Zn)	µg/l E/L	<50
Arsenic (As)	µg/l E/L	7
Cadmium (Cd)	µg/l E/L	<1,5
Plomb (Pb)	µg/l E/L	<10
Mercure (Hg)	µg/l E/L	<0,1
Fer (Fe)	mg/l E/L	



Rapport d'essai n°.: ULY16-004580-2  
 Projet : ULY-0750-1-16.  
 Site : Lycée Rabelais

Laboratoires WESSLING S.A.R.L.  
 Z.I. de Chesnes Tharabie · 40 rue du Ruisseau  
 BP 50705 · 38297 Saint-Quentin-Fallavier  
 Tél. +33 (0)4 74 99 96 20 · Fax +33 (0)4 74 99 96 37  
 labo@wessling.fr · www.wessling.fr

#### Benzène et aromatiques (CAV - BTEX)

Benzène	µg/l E/L	<0,5
Toluène	µg/l E/L	<0,5
Ethylbenzène	µg/l E/L	<0,5
o-Xylène	µg/l E/L	<0,5
m-, p-Xylène	µg/l E/L	<0,5
Cumène	µg/l E/L	<0,5
Mésitylène	µg/l E/L	<0,5
o-Ethyltoluène	µg/l E/L	<0,5
m-, p-Ethyltoluène	µg/l E/L	<0,5
Pseudocumène	µg/l E/L	<0,5
Somme des CAV	µg/l E/L	-/-

#### Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Naphtalène	µg/l E/L	<0,02
Acénaphthylène	µg/l E/L	<0,02
Acénaphthène	µg/l E/L	<0,02
Fluorène	µg/l E/L	<0,02
Phénanthrène	µg/l E/L	<0,02
Anthracène	µg/l E/L	<0,02
Fluoranthène (*)	µg/l E/L	<0,02
Pyrène	µg/l E/L	<0,02
Benzo(a)anthracène	µg/l E/L	<0,02
Chrysène	µg/l E/L	<0,02
Benzo(b)fluoranthène (*)	µg/l E/L	<0,02
Benzo(k)fluoranthène (*)	µg/l E/L	<0,02
Benzo(a)pyrène (*)	µg/l E/L	<0,02
Dibenzo(ah)anthracène	µg/l E/L	<0,02
Indéno(123-cd)pyrène (*)	µg/l E/L	<0,02
Benzo(ghi)peryène (*)	µg/l E/L	<0,02
Somme des HAP	µg/l E/L	-/-
Somme des 4 HAP	µg/l E/L	-/-
Somme des 6 HAP (*)	µg/l E/L	-/-

#### Analyses microbiologiques

Bactéries ferrugineuses Absence

N° d'échantillon

16-057583-01-1

Désignation d'échantillon

Unité

Forage de  
pompage

#### Préparation d'échantillon

Minéralisation à l'eau régale	E/L	20/04/2016
-------------------------------	-----	------------

#### Eléments

Manganèse (Mn)	µg/l E/L	12
Fer (Fe)	mg/l E/L	0,13

Rapport d'essai n°.: ULY16-004580-2  
Projet : ULY-0750-1-16.  
Site : Lycée Rabelais

Laboratoires WESSLING S.A.R.L.  
Z.I. de Chesnes Tharabie · 40 rue du Ruisseau  
BP 50705 · 38297 Saint-Quentin-Fallavier  
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20 · Fax +33 (0)4 74 99 96 37  
labo@wessling.fr · www.wessling.fr

**St Quentin Fallavier, le 06.05.2016**

## Informations sur les échantillons

N° d'échantillon :	16-057583-01	16-057583-01-1
Date de réception :	15.04.2016	15.04.2016
Désignation :	Forage de pompage	Forage de pompage
Type d'échantillon :	Eau propre	Eau propre
Date de prélèvement :	14.04.2016	14.04.2016
Récipient :	2*1LPE + 2*500PE + 4*250V + 4*60PE + 100PE HNO3 + 2HS	
Température à réception (C°) :	8°C	8°C
Début des analyses :	15.04.2016	15.04.2016
Fin des analyses :	29.04.2016	21.04.2016

Rapport d'essai n°.: ULY16-004580-2  
Projet : ULY-0750-1-16.  
Site : Lycée Rabelais

Laboratoires WESSLING S.A.R.L.  
Z.I. de Chesnes Tharabie · 40 rue du Ruisseau  
BP 50705 · 38297 Saint-Quentin-Fallavier  
Tél. +33 (0)4 74 99 96 20 · Fax +33 (0)4 74 99 96 37  
labo@wessling.fr · www.wessling.fr

St Quentin Fallavier, le 06.05.2016

## Informations sur les méthodes d'analyses

Paramètre	Norme	Laboratoire
Conductivité électrique sur eau / lixiviat	NF EN 27888(A)	Wessling Lyon (F)
Résidu sec après filtration à 105+/-5°C	NF T90-029(A)	Wessling Lyon (F)
pH	NFT 90-008(A)	Wessling Lyon (F)
Turbidité de l'eau / lixiviat	EN ISO 7027(A)	Wessling Oppin (D)
Oxygène dissous	EN 25814	Wessling Lyon (F)
Indice hydrocarbures (GC) sur eau / lixiviat (HCT)	NF EN ISO 9377-2(A)	Wessling Lyon (F)
Alcalinité TA, TAC ( Calcul)	NF EN ISO 9963-1(A)	Wessling Lyon (F)
Dioxyde de carbone agressif sur eau / lixiviat	DIN 38404 C10(A)	Wessling Oppin (D)
Anions dissous (filtration à 0,2 µ)	Méth. interne ION adaptée de NF EN ISO 10304-1(A)	Wessling Lyon (F)
Ammonium (NH4)	NF EN ISO 11732(A)	Wessling Lyon (F)
Dureté calcique dans les eaux/eluats TH (°F)	Méth. interne dureté V1(A)	Wessling Lyon (F)
Métaux sur eau / lixiviat (ICP-MS)	NF EN ISO 17294-2(A)	Wessling Lyon (F)
Métaux sur eau / lixiviat	Méth. interne ICP-MS adaptée de NF EN ISO 17294-2(A)	Wessling Lyon (F)
Benzène et aromatiques (CAV-BTEX)	NF ISO 11423-1(A)	Wessling Lyon (F)
HAP	Méth. interne HAP-PCB adaptée de NF T90-115(A)	Wessling Lyon (F)
Potentiel redox	Méthode interne	Wessling Lyon (F)
BART-Test	WES 528	Wessling Walldorf (D)
Sulfures (S) libres, dissous sur eau/lixiviat	DIN 38405 D27 mod.(A)	Wessling Oppin (D)
o-Phosphate (P)	NF EN ISO 6878(A)	Wessling Lyon (F)
Minéralisation à l'eau régale pour métaux totaux	NF EN ISO 15587-1(A)	Wessling Lyon (F)
Bactéries ferrugineuses	Méthode interne	Laboratoire partenaire

### Commentaires :

16-057583-01

Commentaires des résultats:

pH (E/L), pH: a 19,6°C

Métaux (E/L), Calcium (Ca): Résultat hors champ d'accréditation car situé hors du domaine de calibration.

HCT GC-FID (E/L), Indice hydrocarbure C10-C40: Résultat sous réserve : Pour effectuer l'extraction dans le flacon d'origine, un retrait d'une partie de la phase aqueuse a été nécessaire. Ce retrait a pu engendrer un sous dosage de l'échantillon.

Pour parfaire la lecture de vos résultats, les seuils sont susceptibles d'être augmentés en fonction de la nature chimique de la matrice. Les métaux réalisés après minéralisation sont les éléments totaux. Sans minéralisation, Il s'agit des éléments dissous.

Signataire Rédacteur

**Caroline DELENTE**

Assistante Responsable Service Clientèle

Signataire Technique

**Fabienne LOISEL**

Responsable Technique du Laboratoire Environnement