

GÉOLOGIE APPLIQUÉE HYDROGÉOLOGIE GÉOPHYSIQUE GÉOMATIQUE ENVIRONNEMENT

Rapport de fin de travaux

Réalisation d'un forage d'eau à usage agricole,
d'essais de pompage et préconisations associées

Chambourcy (78) - Chemin de la Forêt / Chemin des Bouleaux

Commune de Chambourcy

Dossier n°23148

Novembre 2023



26 rue Hubert le Sellier de Chezelles - 36130 DEOLS

+33 (0)2 54 07 05 47

www.comiremscop.fr

comiremscop@orange.fr

SOMMAIRE

1	Introduction	3
1.1	Identité du Maitre d'Ouvrage	3
1.2	Cadre des travaux réalisés.....	3
1.3	Objectifs du présent document.....	4
1.4	Cadre réglementaire	4
2	Contexte du forage agricole	5
2.1	Localisation du forage agricole.....	5
2.2	Besoins en eau du projet agricole.....	6
2.3	Réservoir et nappe attendus	6
3	Caractéristiques du forage agricole.....	7
3.1	Déroulement des travaux de forage.....	7
3.2	Description du sondage de reconnaissance.....	7
3.3	Description de l'équipement du forage agricole.....	8
3.4	Description du développement de l'ouvrage	9
3.5	Description de la tête de forage lors de l'intervention	10
4	Coupe technique du forage agricole.....	11
5	Essais de pompage	12
5.1	Caractéristiques du dispositif de pompage et de suivi	12
5.2	Déroulement des essais.....	14
5.3	Piézométrie lors de l'intervention.....	14
5.4	Essai de puits (par paliers non enchainés).....	15
5.5	Essai de nappe (essai longue durée).....	20
6	Qualité des eaux souterraines	26
7	Validation du débit d'exploitation.....	27
7.1	Débit d'exploitation retenu.....	27
7.2	Calibration du modèle analytique	27
7.3	Simulation du forage en phase exploitation.....	28
8	Fonctionnement, suivi et entretien	30
8.1	Mode de fonctionnement de l'ouvrage	30
8.2	Mode de fonctionnement du dispositif de pompage.....	30
8.3	Préconisations sur l'entretien et la surveillance de l'ouvrage	31
8.4	Mise en conformité de la tête de forage	32
8.5	Préconisations quant aux comblements de forage	33
	Annexe 1 - Analyses des eaux de nappe	35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Identité du demandeur.....	3
Tableau 2 : Coordonnées géographiques et cote topographie de l'ouvrage.....	5
Tableau 3 : Besoins en eau du projet.....	6
Tableau 4 : Chronologie du chantier de forage.....	7
Tableau 5 : Coupe lithologique au droit du forage agricole.....	8
Tableau 6 : Caractéristiques de l'équipement du forage.....	8
Tableau 7 : Caractéristique de la tête de forage lors des essais de pompage.....	10
Tableau 8 : Chronologie des essais de pompage.....	14
Tableau 9 : Niveaux de nappe relevés lors de l'intervention.....	14
Tableau 10 : Paramètres de l'essai de puits.....	15
Tableau 11 : Terme de l'équation caractéristique du forage F1.....	17
Tableau 12 : Principaux paramètres de l'essai de nappe.....	20
Tableau 13 : Résultats des interprétations en régime transitoire.....	25
Tableau 14 : Résultats d'analyse du prélèvement d'eaux souterraines.....	26
Tableau 15 : Paramétrage du modèle de Papadopulos-Cooper.....	27

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Plan de situation.....	5
Figure 2 : Plan de localisation du forage agricole.....	6
Figure 3 : Photographies de la tête de forage avant et après intervention.....	10
Figure 4 : Coupe technique et géologique du forage F1.....	11
Figure 5 : Photographies des appareils de contrôle et de surveillance de débits.....	12
Figure 6 : Photographie du point de rejet des eaux d'exhaure.....	13
Figure 7 : Chronique de rabattement lors de l'essai de puits.....	16
Figure 8 : Droite caractéristique du forage F1.....	17
Figure 9 : Courbe caractéristique de l'ouvrage.....	19
Figure 10 : Chronique de rabattement en F1 lors de l'essai de nappe - Graphique arithmétique.....	21
Figure 11 : Chronique de rabattement au forage F1 - Phase de pompage - Graphique semi-log.....	22
Figure 12 : Chronique de remontée au forage F1 - $s = f(t/t')$ - Graphique semi-log.....	23
Figure 13 : Calibration du modèle analytique à partir des données in-situ.....	28
Figure 14 : Simulation du fonctionnement du forage sur une durée de 5 mois.....	29
Figure 15 : Exemple de mise en sécurité d'une tête de forage.....	32
Figure 16 : Exemples de comblement d'ouvrages.....	34

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats des analyses des eaux souterraines

1 INTRODUCTION

1.1 Identité du Maitre d'Ouvrage

Maitre d'Ouvrage	COMMUNE DE CHAMBOURCY
Forme Juridique	Collectivité territoriale
Adresse du siège social	Place Charles de Gaulle - 78 240 CHAMBOURCY
SIRET	217 801 331 00018
Personne en charge des travaux	Aurélie FOURNIER Directrice du Service Urbanisme et Développement Economique
Numéro de téléphone	01 39 22 31 31
Adresse électronique	a.fournier@chambourcy.fr

Tableau 1 : Identité du demandeur

1.2 Cadre des travaux réalisés

Dans le cadre de la valorisation de son territoire agricole, la Mairie de Chambourcy souhaite réaménager un vaste espace situé dans le secteur du Fossé d'Hennemont.

Le projet consiste en la réhabilitation de terrain pour un usage maraîcher et arboricole.

Néanmoins, l'approvisionnement en eau pour l'irrigation des cultures reste encore incertain pour ce projet.

Par conséquent, le Maitre d'Ouvrage a missionné la société COMIREM SCOP pour la réalisation d'une étude de préféabilité d'approvisionnement en eau par forage de captage.

L'ensemble des éléments de cette étude sont consignés dans les rapports COMIREM SCOP référencés 22012-01 et 22012-01Bis.

Suite aux conclusions de cette étude de préféabilité technique et réglementaire, il a été décidé de mener des travaux d'investigations in-situ (forage et essais de pompage) afin d'évaluer si le réservoir aquifère ciblé était en capacité de répondre aux besoins en eau.

1.3 Objectifs du présent document

Les objectifs de ce document sont :

- de fournir un compte rendu des travaux réalisés, concernant :
 - la réalisation du forage et la géologie des terrains rencontrée,
 - la mise en place de l'équipement du forage,
 - la réalisation du développement (nettoyage) de l'ouvrage,
- de présenter et d'interpréter les essais de pompage réalisés, avec :
 - pour l'essai de puits, la définition des caractéristiques hydrauliques du forage,
 - pour l'essai de nappe, la définition des paramètres hydrodynamiques du réservoir capté et l'évaluation du fonctionnement du forage sur une longue durée de pompage,
- de présenter la qualité des eaux souterraines captées vis-à-vis de leurs usages,
- de simuler le fonctionnement du forage et le comportement de la nappe souterraine afin de valider le débit à ne pas dépasser lors de la phase exploitation du projet,
- de donner des préconisations quant :
 - au mode de fonctionnement du forage en phase exploitation,
 - au mode d'entretien et de surveillance de l'ouvrage,
 - à la mise en conformité de la tête du forage.

1.4 Cadre réglementaire

Les travaux de forage et d'essais de pompage ont été planifiés et déclarés au titre de Loi sur l'Eau et des Milieux Aquatiques (réf. du dossier : AIOT 0100005843).

Ces travaux ont été autorisés par la Police de l'Eau en date du 14 décembre 2022.

Supérieur à 10 m de profondeur, ce forage a été également enregistré au titre du Code Minier le 20 septembre 2022, sous le numéro 253446.

Cet ouvrage de captage porte l'identifiant BSS004FFFQ.

2 CONTEXTE DU FORAGE AGRICOLE

2.1 Localisation du forage agricole

Le forage de captage est situé sur la commune de Chambourcy, au croisement du Chemin de la Forêt et du Chemin des Bouleaux, parcelle cadastrale A185.

Le tableau ci-dessous présente les coordonnées géographiques de l'ouvrage de captage.

Ouvrage	Lambert 93		m NGF	
	X	Y	Z sol	Z repère de mesure (HT)
F1	629 915,07	6 868 273,88	66,33	66,67

Tableau 2 : Coordonnées géographiques et cote topographie de l'ouvrage

Le nivellement a été réalisé à l'aide d'un DGPS d'une précision de mesure de +/- 15 cm.

Dans ce document, les mesures seront soit données en m/sol, soit données en m/HT, correspondant au Haut du Tube PVC en tête de forage.

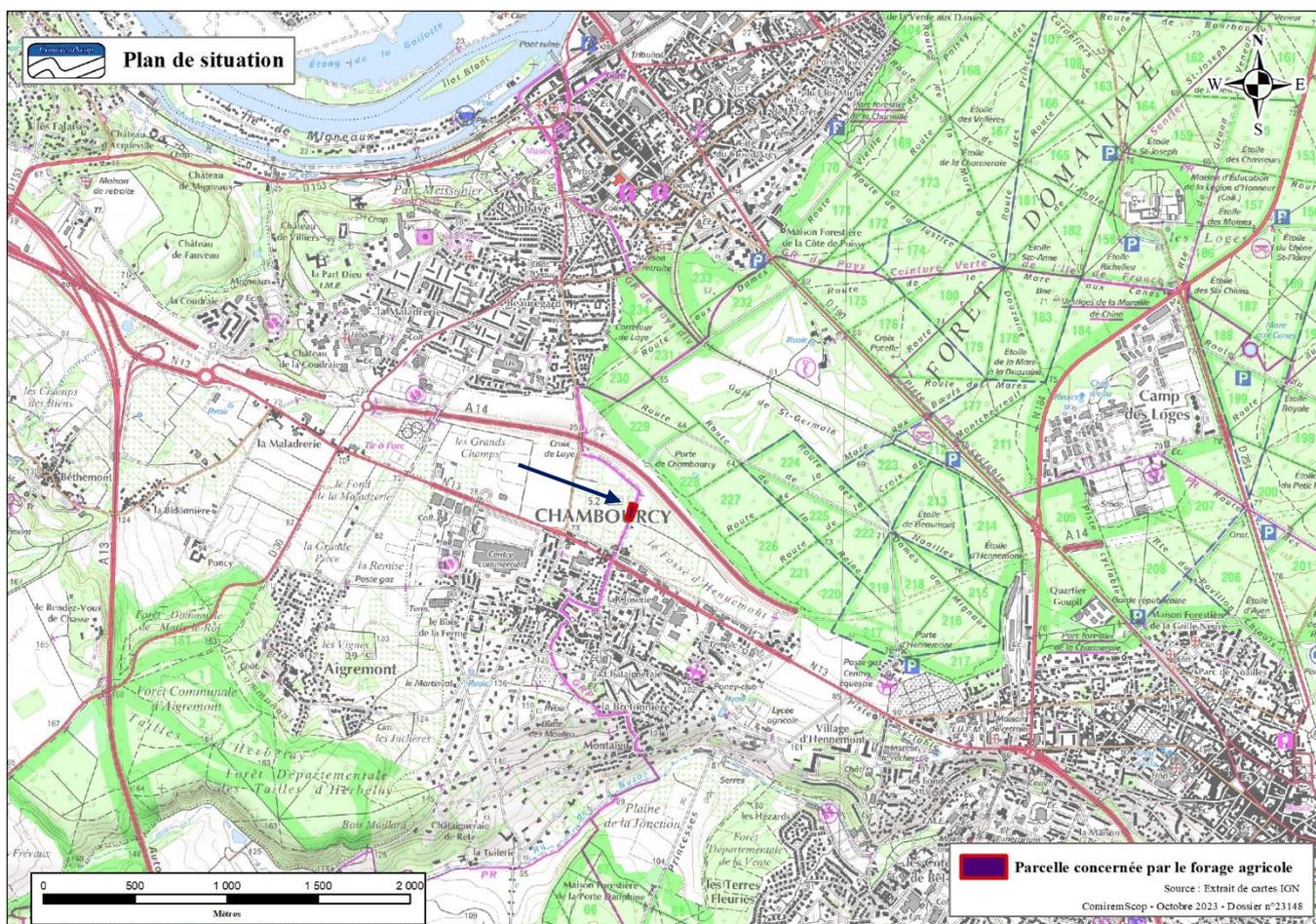


Figure 1 : Plan de situation

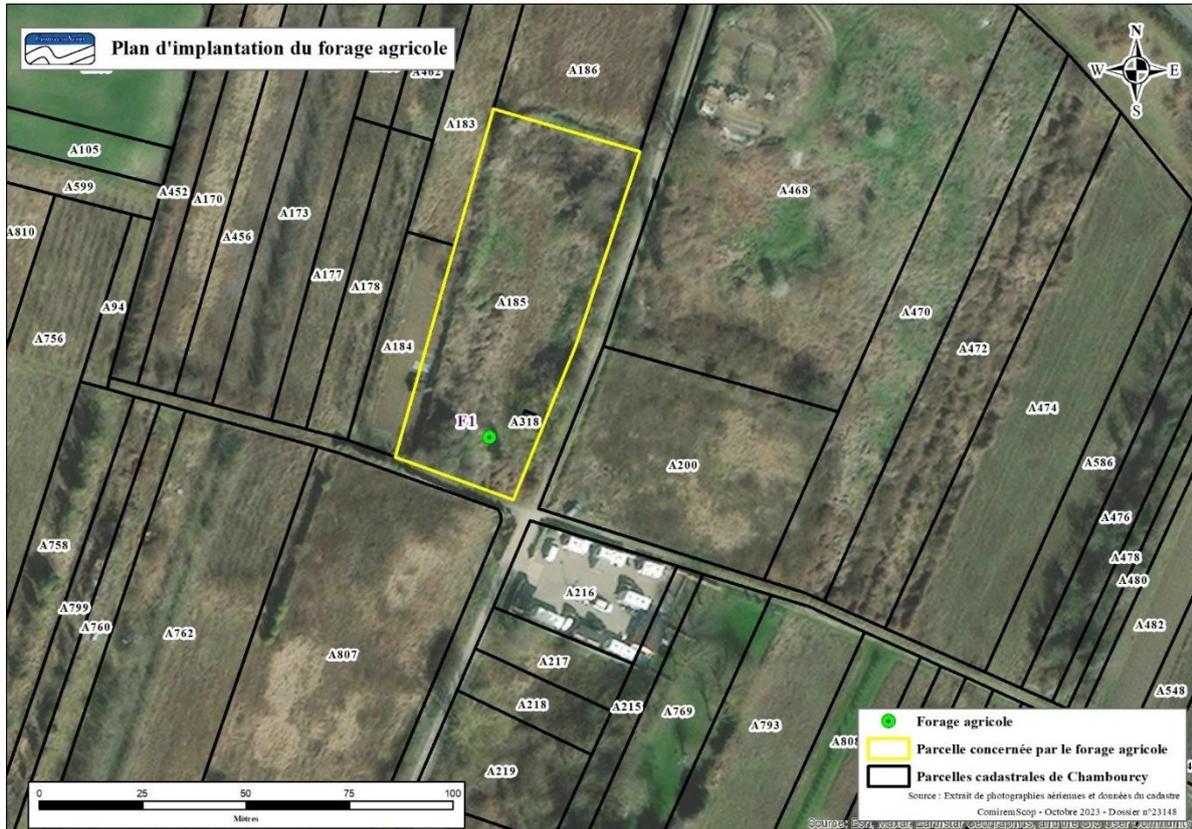


Figure 2 : Plan de localisation du forage agricole

2.2 Besoins en eau du projet agricole

Selon les informations transmises par le Maître d’Ouvrage, les besoins en eau du projet sont :

Volume attendu (m ³ /an)	Utilisation prévue	Débit horaire souhaité (m ³ /h)
50 000	Mai à Septembre avec pic entre Juillet et Aout	40,00

Tableau 3 : Besoins en eau du projet

Le mode de fonctionnement journalier attendu n’a pas été communiqué.

Néanmoins, selon les données présentées ci-dessus, il est supposé un pompage en continu journalier d’environ 9 heures, avec une mise au repos du captage d’environ 15 heures (à confirmer par le Maître d’Ouvrage).

2.3 Réservoir et nappe attendus

Selon les conclusions de l’étude de préféabilité, l’objectif du forage agricole était de capter :

- la nappe libre de l’Eocène moyen et inférieur,
- contenue dans les formations du Lutétien (Calcaire Grossier) et du complexe Yprésien / Sparnacien (Sables de Cuise et Fausses Glaises),
- reposant sur le substratum imperméable du Sparnacien (Argile Plastique).

Ce réservoir multicouche s’inscrit dans la masse d’eau référencée ME HG102, intitulée “ Craie et Tertiaire du Mantois à l’Hurepoix ”.

3 CARACTERISTIQUES DU FORAGE AGRICOLE

3.1 Déroulement des travaux de forage

Le forage, la pose de l'équipement et le développement de l'ouvrage, ainsi que la mise en place du dispositif de pompage d'essais ont été réalisés par la société Le Potier Forage.

La réalisation des essais de pompage a été réalisé par la société COMIREM SCOP.

Date	Phase
02/10/2023 au 04/10/2023	Mise en place de l'atelier de forage, du matériel, des bacs à boue et de l'approvisionnement en eau
05/10/2023	Réalisation de l'avant trou (Aveuglement des terrains non concernés par le captage)
06/10/2023 au 09/10/2023	Travaux de forage (Profondeur atteinte : 47 m/sol)
10/10/2023	Mise en place de l'équipement du captage
11/10/2023	Développement mécanique par injection d'air comprimé (air-lift de 4 h) Développement chimique par injection d'héxamétaphosphate (150 kg)
12/10/2023	Développement mécanique par injection d'air comprimé (air-lift de 6 h)
13/10/2023	Mise en place de la pompe, colonne de refoulement, débitmètre, vanne et branchement électrique Réglage de la pompe et développement par pompage progressif (19 à 30 m ³ /h pendant 2 h)
16/10/2023	Développement par pompage progressif (20 à 37 m ³ /h pendant 5 h)

Tableau 4 : Chronologie du chantier de forage

3.2 Description du sondage de reconnaissance

3.2.1 Déroulement du forage

Les travaux de foration ont été réalisés comme suit :

- de 0,00 à - 10,30 m/sol, foration Rotary au tricône \varnothing 374 mm à l'eau en circulation inverse, puis alésage en \varnothing 445 mm et mise en place d'un tubage acier \varnothing 323 mm et cimentation sous pression en circulation inverse de l'ouvrage jusqu'au terrain actuel,
- de - 10,30 à - 47,00 m/sol, foration Rotary au tricône \varnothing 311 mm à l'eau en circulation inverse, trou nu jusqu'à la mise en place de l'équipement du captage.

Il a été convenu entre l'entreprise forage et COMIREM SCOP d'arrêter le forage à 47 m.

En effet, le substratum imperméable du réservoir de l'Eocène a été reconnu à partir de 45 m de profondeur, avec l'apparition d'une argile bleue très compacte (Argiles Plastiques).

Afin de ne pas mettre en relation la nappe de l'Eocène avec celle du Montien (formations de Meudon) supposée située vers les 50 m/sol, le forage a donc été volontairement arrêté.

Également, la poursuite après 47 m aurait pu nuire à la productivité de l'ouvrage en raison d'un potentiel colmatage par contamination des parois du forage avec l'argile compacte.

3.2.2 Description des terrains traversés

La technique de forage (destructif) ne permet pas d'obtenir une coupe géologique précise. Néanmoins, il a été possible d'établir une coupe lithologique proche de la réalité :

Profondeur (m/sol)	Lithologie	Formation	Stratigraphie
0,00 à 3,00	Sable limoneux	Alluvions / Colluvions présumées	Quaternaire présumé
3,00 à 10,50	Calcaire friable peu marneux	Marnes et Caillasses	Lutétien
10,50 à 16,00	Calcaire sableux	Calcaire Grossier	
16,00 à 26,00	Sable fin gris / noir	Sables de Cuise	Yprésien
26,00 à 27,00	Argile noire très compacte	Fausses Glaises présumées	Sparnacien
27,00 à 45,00	Sable fin argileux tendre gris / noir		
45,00 à > 47,00	Argile bleue compacte	Argiles Plastiques	

Tableau 5 : Coupe lithologique au droit du forage agricole

A noter qu'avant la reprise du forage le 09/10/2023, un niveau de nappe vraisemblablement stabilisé a été mesuré vers les 16 m/sol.

Hormis les formations du Lutétien (non ou peu saturées par une nappe), **les horizons susceptibles d'être les plus productifs sont compris entre 16 et 26 m (sable fin) et dans une moindre mesure, ceux compris entre 27 et 45 m (sable fin argileux tendre).**

3.3 Description de l'équipement du forage agricole

Type d'équipement	Caractéristiques	Profondeur (m/sol)
Equipement en tubage		
Tube Plein	PVC à visser, Ø 180/200 mm (3 tubes de 4 m)	+ 0,35 à - 11,65
Raccord	Raccord mixte INOX Ø 193,70 mm et filetage PVC Ø 180 / 200	- 11,65 à -12,00
Tube Crépiné	INOX en fil enroulé à souder, Ø 193,70 mm, Slot 0,30 mm (5 tubes de 6 m)	- 12,00 à - 42,00
Tube décanteur	INOX Ø 193,70 mm avec bouchon de fond soudé	- 42,00 à - 46,00
Centreurs	INOX Ø 193 / 311 mm	1 par tube crépiné (soit 5)
Equipement de l'espace annulaire		
Cimentation	Cimentation prise lente	0,00 à - 2,00
Joint d'étanchéité	Joint de sobranite	- 2,00 à - 4,00
Massif filtrant	Siliceux, lave, roulé et calibré (TEN 0,95 mm)	- 4,00 à - 47,00
Equipement de l'extrados		
Tube Plein	ACIER Ø 323mm	+ 0,20 à - 10,30
Extrados	Cimentation sous-pression en circulation inverse	0,00 à - 10,30

Tableau 6 : Caractéristiques de l'équipement du forage

3.4 Description du développement de l'ouvrage

3.4.1 Air-lift et développement chimique (société Le Potier)

Lors des travaux, il a été réalisé :

- le 11 octobre 2020, un développement :
 - à l'air-lift pendant environ 4h à débit progressif jusqu'à $Q \approx 18 \text{ m}^3/\text{h}$ afin de dégager mécaniquement les dépôts de l'ouvrage,
 - chimique à l'héxamétaphosphate (150 kg) afin de dissoudre les fractions organiques et argileuses pour augmenter potentiellement le rendement du forage,
- le 12 octobre 2020, un développement par air-lift pendant environ 6 h à $Q \approx 18 \text{ m}^3/\text{h}$ jusqu'à l'obtention d'une eau claire, afin de dégager les résidus dissous lors du développement chimique.

Entre le 1^{er} et le 2^{ème} soufflage à débit constant ($Q \approx 18 \text{ m}^3/\text{h}$), le niveau dynamique de la nappe se stabilisait vers les 22 à 23 m/HT, avec un niveau supposé statique reconnu vers les 16 / 17 m/HT, soit un rabattement pseudo stabilisé d'environ 7 m.

Par conséquent, l'entreprise forage n'a pas observée de nettes améliorations de la productivité de l'ouvrage après développement chimique.

3.4.2 Développement par pompage (société COMIREM SCOP)

Lors des travaux, il a été réalisé :

- le 13 octobre 2023, lors de la prise en main du dispositif de pompage, un pompage progressif à $Q \approx 19 \text{ m}^3/\text{h}$ (pendant 1 h), puis $Q \approx 25 \text{ m}^3/\text{h}$ (pendant 30 min) et enfin $Q \approx 30 \text{ m}^3/\text{h}$ (pendant 30 min), avec un niveau supposé statique avant pompage à 16,59 m/HT pour un niveau dynamique en fin de pompage vers les 29,40 m/HT,
- le 16 octobre 2023, un pompage progressif pendant 5 h à environ 20, 26, 30 puis 37 m^3/h afin d'évaluer les capacités minimales et maximales de la pompe immergées et de finaliser le développement de l'ouvrage.

A la fin de la phase de nettoyage, l'eau d'exhaure était claire et sans particules fines visibles.

A noter que lors de la phase de développement du 16/10/2023, le niveau statique de la nappe était situé à 16,58 m/HT et le niveau dynamique était situé vers les 33,50 m/HT, soit un rabattement important d'environ 17 m après 5 h de pompage.

3.5 Description de la tête de forage lors de l'intervention

La figure ci-dessous présente :

- une photographie de la tête de forage lors des essais de pompage,
- une photographie après remise en état du site, avec scellement de la tête de forage.



Figure 3 : Photographies de la tête de forage avant et après intervention

Lors des essais, la tête de forage présentait les caractéristiques suivantes :

Altitude au sol (m NGF)	Hauteur du tube ACIER (m/sol)	Hauteur du tube PVC (m/sol)
66,33	+ 0,20	+ 0,35

Tableau 7 : Caractéristique de la tête de forage lors des essais de pompage

Pour rappel, le tubage ACIER constitue le tubage aveuglant / protégeant le captage des terrains de 0,00 à - 10,30 m/sol.

Également, entre ce tubage ACIER et la colonne captante (tubage PVC / INOX), il a été mis en place une cimentation en tête de 0,00 à - 2,00, puis un joint d'étanchéité à la sobranite de - 2,00 à - 4,00 m.

En fin de chantier et afin de protéger l'ensemble du captage d'éventuels pollutions de surface ou l'intrusion de corps étrangers dans le forage, la tête a été scellée à l'aide d'un tubage ACIER soudé et hermétique (cf. photographie ci-dessus).

Néanmoins, avant exploitation du forage, le Maitre d'Ouvrage devra veiller à la mise en conformité définitive de la tête de forage ou du local de pompage (cf. préconisations fournies en sous-chapitre 8.4).

4 COUPE TECHNIQUE DU FORAGE AGRICOLE

Coupe technique et géologique du forage F1 captant la nappe de l'Eocène moyen et inférieur

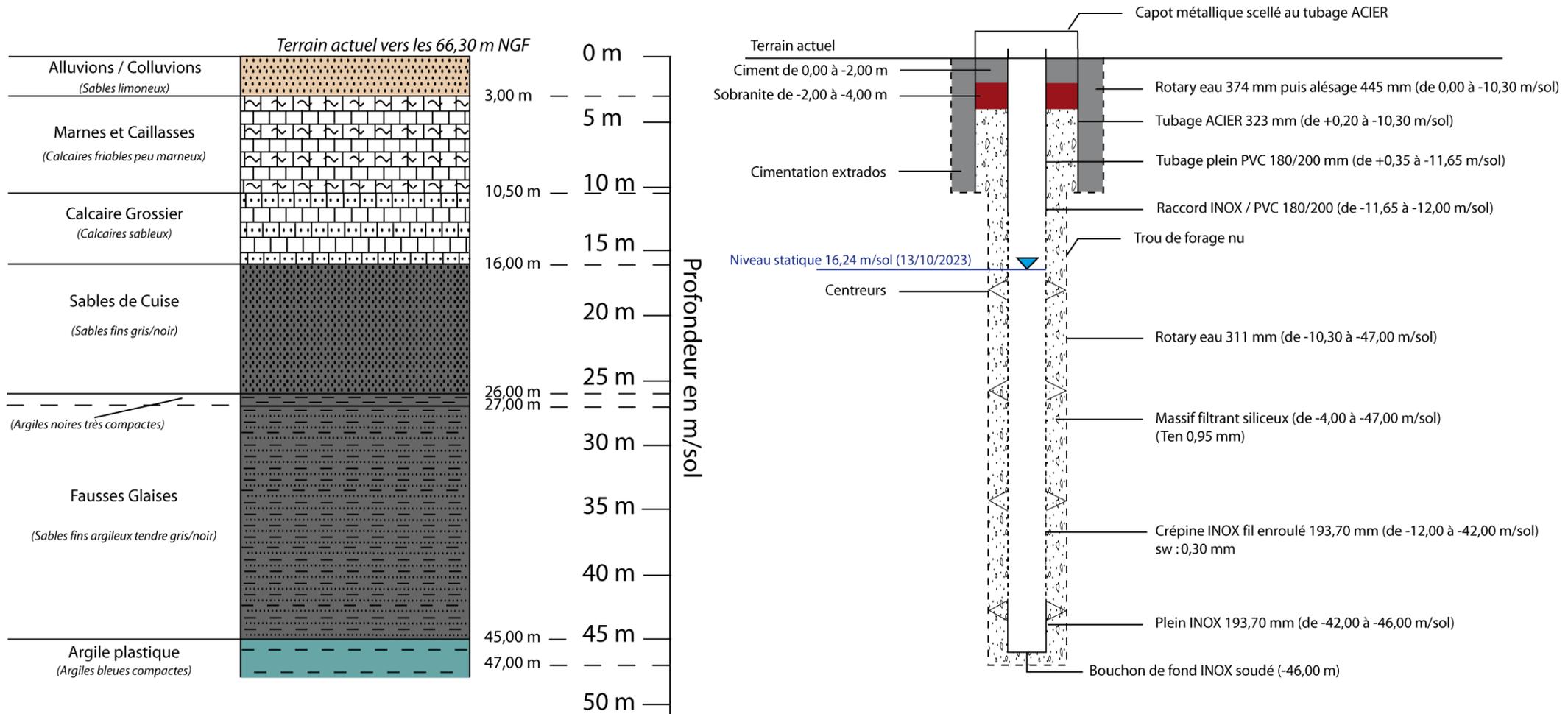


Figure 4 : Coupe technique et géologique du forage F1

5 ESSAIS DE POMPAGE

5.1 Caractéristiques du dispositif de pompage et de suivi

5.1.1 Présentation du dispositif de pompage

La pompe utilisée lors des essais était une pompe immergée 6", d'une longueur totale d'environ 3 m, avec une zone d'aspiration située vers les 0,70 m / base de pompe.

Ne disposant pas d'une chemise de refroidissement, cette pompe a été mise en place entre environ 39,00 et 42,00 m/sol, soit entre environ 39,35 et 42,35 m/HT.

Par conséquent, lors des essais, il a été retenu une profondeur de rabattement maximal admissible à 38,00 m/HT, correspondant à une cote de rabattement à ne pas dépasser afin d'éviter tout risque d'endommagement de la pompe immergée.

Théoriquement, cette pompe devait fournir des débits compris entre 18 et 42 m³/h, pour une HMT d'environ 50 m. Néanmoins, en condition d'essais, il n'a pas été possible de dépasser 37 m³/h en raison de l'ajout d'un compteur volumétrique DN50 entre deux tuyaux de refoulement car le débitmètre électromagnétique présentait un défaut de calibration.

La colonne d'exhaure était composée de tubages Inox DN60, d'une longueur d'environ 40 m, reliant la pompe aux tuyaux de refoulement souple DN60 puis DN50 après compteur.

Avant refoulement, les eaux ont transité par un débitmètre électromagnétique DN75, puis par un manomètre et une vanne papillon DN50 permettant de varier les débits. Un robinet "prise d'eau" a été mis en place après la vanne, permettant les prélèvements d'eaux

Lors de la phase de développement par pompage, il a été observé un défaut de calibration des débits instantanés sur le débitmètre électromagnétique.

Par conséquent, la société COMIREM SCOP a mis en place entre deux tuyaux de refoulement un compteur volumétrique DN50 afin de garantir une bonne lecture des débits lors des essais.

Ces différentes réductions de diamètre semblent expliquées le débit maximal à 37 m³/h.



Figure 5 : Photographies des appareils de contrôle et de surveillance de débits

5.1.2 Point de rejet des eaux d'exhaure

Lors des essais, le rejet des eaux d'exhaure s'est effectué directement sur site, à environ 100 m en aval du forage.

La zone de rejet correspondait à une cuvette topographique.



Figure 6 : Photographie du point de rejet des eaux d'exhaure

5.1.3 Matériels de mesure lors des essais de pompage

Lors des essais, le suivi des niveaux d'eau a été réalisé à l'aide d'une sonde piézométrique manuelle, couplée avec une sonde automatique installée dans un tube " guide sonde " vers les 39 m/sol (et à une sonde barométrique).

La mesure des débits a été suivie tout au long des essais sur le compteur et également, sur le débitmètre électromagnétique, par lecture directe des débits et par comptabilisation des volumes à chaque heure de pompage.

5.2 Déroutement des essais

Le tableau ci-dessous présente la chronologie des essais de pompage :

Date	Phase
17 octobre 2023	Essai de puits comprenant : - 4 paliers à débits croissants d'une durée de 1 h par palier - débits par palier : environ 20, 26, 30 et 35 m ³ /h - un suivi de la remontée de la nappe de 1h30 min entre chaque palier
18 au 20 octobre 2023	Essai de nappe comprenant : - un pompage d'une durée de 12 heures à débit constant d'environ 27 m ³ /h - un suivi de la remontée de nappe pendant environ 35 heures après coupure

Tableau 8 : Chronologie des essais de pompage

5.3 Piézométrie lors de l'intervention

Le tableau ci-dessous présente les niveaux de nappe relevés lors de l'intervention avant pompage en début de journée.

F1	Date des relevés piézométriques					
	13/10/2023	16/10/2023	17/10/2023	18/10/2023	19/10/2023	20/10/2023
m/HT	16,59	16,58	16,92	16,99	17,59	17,07
m NGF	50,08	50,10	49,76	49,69	49,09	49,61
Phase	Réglage pompe	Développement	Essai de puits	Essai de nappe	Phase de remontée de nappe suite à l'essai de nappe	

Tableau 9 : Niveaux de nappe relevés lors de l'intervention

Selon ces données, le réel niveau statique de la nappe de l'Eocène moyen et inférieur était situé vers les 16,58 m/HT, soit vers les 50,10 m NGF.

Selon la coupe géologique du forage, la nappe d'étude correspond à une nappe libre.

Compte tenu des remontées relativement lentes de la nappe d'étude, les niveaux d'eau avant lancement des essais de pompage ne correspondaient pas à de réels niveaux statiques.

Enfin, compte tenu du niveau statique supposé, les formations du Lutétien n'étaient pas saturées par la nappe d'étude (base du Lutétien vers 16 m/sol).

Selon l'étude de préfaisabilité (rapport COMIREM SCOP n°22012-01), il est attendu un battement annuel de cette nappe d'environ 2 à 3 m.

Si le niveau d'eau observé en octobre 2023 correspond à un niveau de basses eaux, il est supposé qu'en période de hautes eaux, la nappe au droit du forage peut atteindre les 13,60 ou 14,60 m/HT, soit les 47,10 ou 48,10 m NGF.

5.4 Essai de puits (par paliers non enchainés)

5.4.1 Présentation des données d'essai

La figure page suivante présente la chronique de rabattement lors de l'essai de puits en F1.

Le tableau ci-dessous présente les paramètres de l'essai de puits.

Paliers	Niveau nappe avant essai (m/HT)	Débit (m ³ /h)	Rabattement en fin de palier (m)	Durée de remontée avant palier	Rabattement spécifique ($\frac{m}{m^3/h}$)	Débit spécifique ($\frac{m^3/h}{m}$)
1	16,92	19,64	6,37	1h30min	0,32	3,08
2		25,80	8,80	1h30min	0,34	2,93
3		30,15	11,45	1h30min	0,38	2,63
4		35,41	15,25	Fin de l'essai	0,43	2,32

Tableau 10 : Paramètres de l'essai de puits

Entre chaque palier de pompage, l'état initiale de la nappe n'a pas été retrouvée, même après 1h30min de mise en repos.

Une correction sur les rabattements à chaque palier devrait être appliquée.

Néanmoins, le niveau de nappe avant lancement de l'essai de puits ne correspondait pas non plus au niveau réellement statique de la nappe (à savoir 16,58 m/HT).

Par sécurité et afin de ne pas biaiser l'interprétation en traitant excessivement les données brutes de l'essai, il a été convenu de ne pas appliquer de correction.

Une surestimation des pertes de charge linéaire et donc, une sous-estimation du débit critique sont donc attendues. Toutefois, cette sous-estimation permet de garder une sécurité compte tenu des rabattements observés dépassant les 30 m³/h.

Également, bien que le dispositif de pompage ne pût fournir un débit supérieur à 37 m³/h, selon les données du graphique présenté ci-après, un palier à Q ≈ 40 m³/h aurait entraîné vraisemblablement un dénoyage de la pompe immergée avant 1 h de pompage.

Enfin et de manière qualitative, dépassées les 30 m³/h, les courbes de rabattement aux paliers 3 et 4 présentent des pentes de plus en plus fortes vis-à-vis de celles des paliers 1 et 2.

Cette baisse de productivité de l'ouvrage et/ou du réservoir pourrait être :

- soit liée à des pertes de charge quadratique excessives dépassé les 30 m³/h,
- soit liée à la désaturation progressive de l'horizon supposée le plus productif, à savoir compris entre 16 et 26 m/sol, soit des rabattements compris entre 0 et 9 à 10 m.

Par conséquent, le rabattement maximal admissible pour cet ouvrage semble être de maximum 9 à 10 m, soit une cote à ne pas dépasser d'environ - 26 m/sol (hypothèse vérifiée lors de l'essai de nappe).

A priori, le débit critique de cet ouvrage semble être situé en-deçà des 30 m³/h.

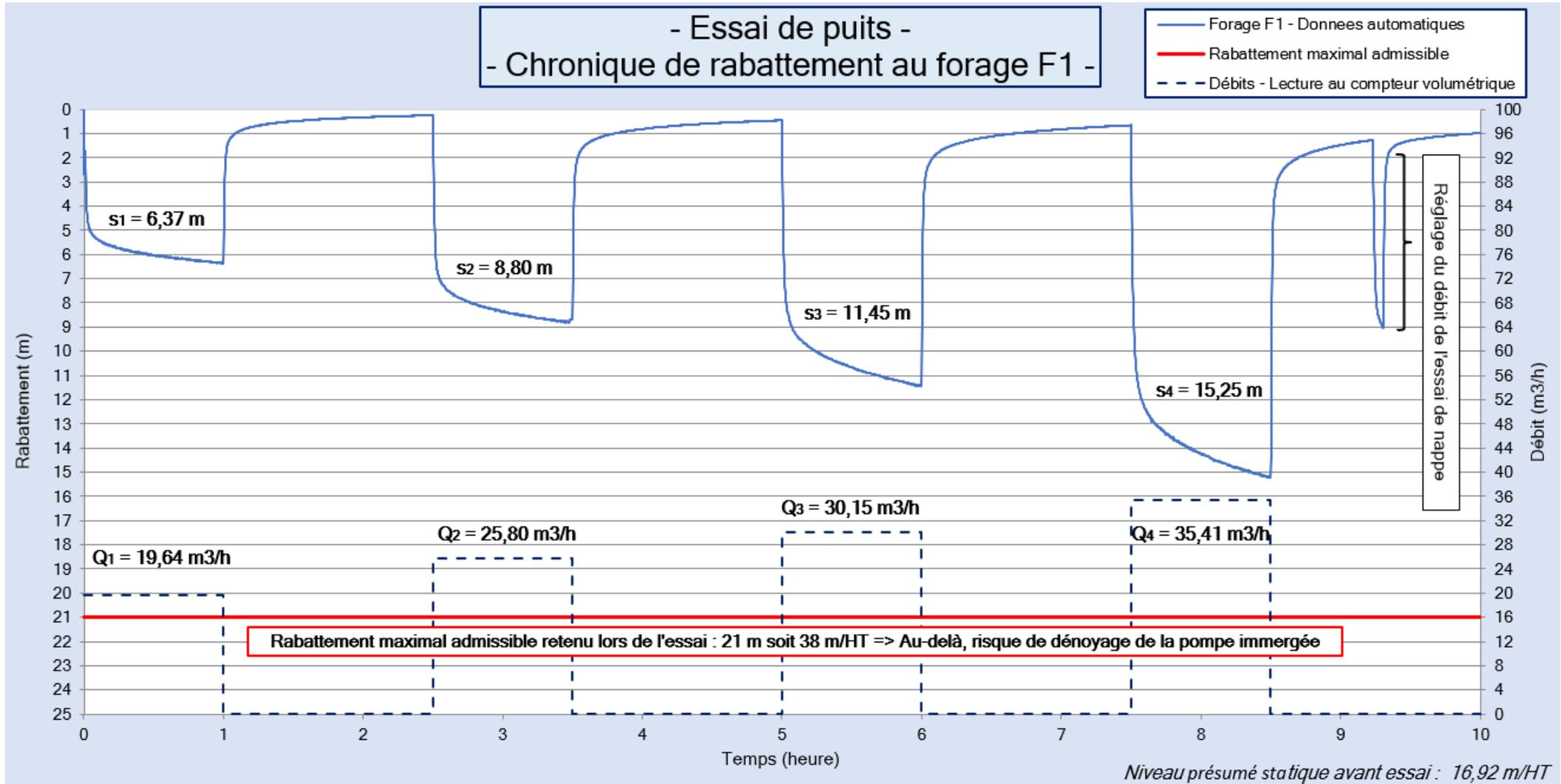


Figure 7 : Chronique de rabattement lors de l'essai de puits

5.4.2 Caractéristiques hydrauliques de l'ouvrage

5.4.2.1 Equation caractéristique de l'ouvrage

L'équation caractéristique d'un ouvrage de pompage est donnée par la formule suivant :

$$s_p = B \cdot Q + C \cdot Q^n$$

Avec :

s_p = rabattement total observé au puits (m)

Q = débit de pompage dans le puits (m³/h)

B = Coefficient de perte de charge linéaire (h/m²)

C = Coefficient de perte de charge quadratique (h²/m⁵)

n = exposant compris entre 1,5 et 3,5 et dépendant du couple rabattement spécifiques / débits

Les pertes de charge linéaire (notées BQ) correspondent aux pertes de charge dues à l'écoulement laminaire, comprenant la perte de charge dans le milieu aquifère et celle due au remaniement autour de la crépine.

Les pertes de charge quadratique (notées CQ²) correspondent aux pertes de charge dues à l'écoulement turbulent dans les crépines et le tubage.

Le graphique des rabattements spécifiques en fonction des débits permet de déterminer les coefficients de pertes de charge.

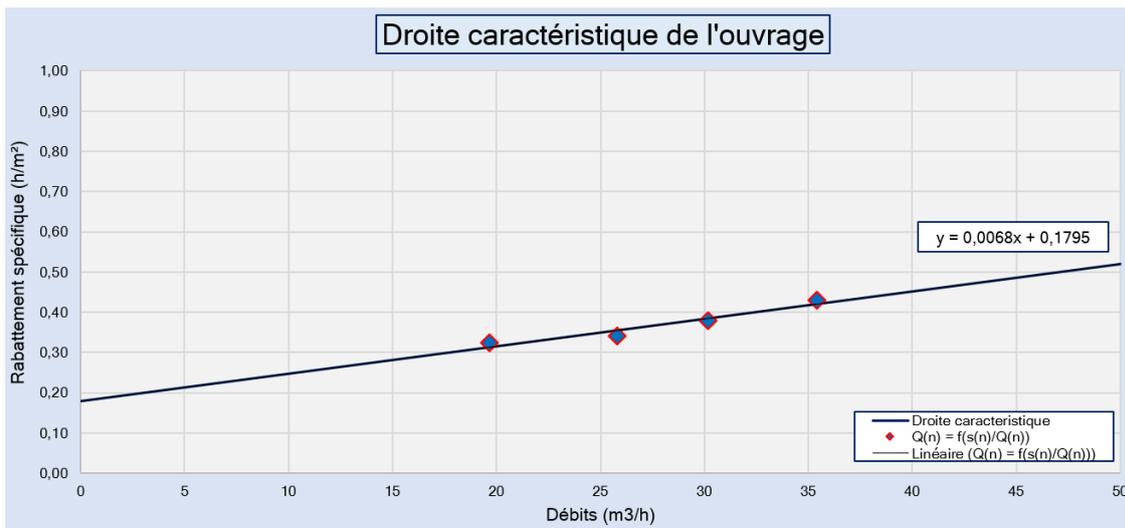


Figure 8 : Droite caractéristique du forage F1

L'équation caractéristique de l'ouvrage PP-01 est donnée comme suit :

$$s_p = 1,80 \cdot 10^{-1} \cdot Q + 6,80 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2$$

Avec :

Coeff. perte de charge linéaire (h/m ²)	Coeff. perte de charge quadratique (h ² /m ⁵)	Exposant (-)
1,80.10 ⁻¹	6,80.10 ⁻³	2

Tableau 11 : Terme de l'équation caractéristique du forage F1

Le coefficient de pertes de charge quadratique reste relativement élevé (de l'ordre de 10⁻³).

Ces fortes pertes de charge quadratiques sont vraisemblablement liées à l'équipement mis en place, à savoir des crépines dont les ouvertures sont de 0,30 mm.

Néanmoins, compte tenu :

- du retour d'expérience sur les forages captant le même réservoir dans le secteur d'étude (cf. rapport COMIREM SCOP n°22012-01Bis),
- du faciès relativement fins des formations des Sables de Cuise et des Fausses Glaises rencontrés lors du forage,

L'équipement mis en place (slot 0,30 mm et massif TEN 0,95) permet d'anticiper tout risque d'ensablement de l'ouvrage et de fournir une eau sans matière en suspension lors de la phase exploitation (cf. résultats des analyses d'eaux souterraines présentés en chapitre 6).

5.4.2.2 Définition du débit critique de l'ouvrage

Le débit critique d'un ouvrage est défini par le débit maximal pouvant affluer d'un aquifère à un forage en écoulement laminaire, c'est-à-dire sans dépassement de la vitesse critique.

Dépassés ce débit, les écoulements deviennent turbulents et peuvent déstabiliser l'ouvrage (perte de productivité à terme).

Le débit critique de l'ouvrage peut être déterminé par la méthode d'égalité des pertes de charge linéaire et quadratique, donné par la formule suivante :

$$Q_c = \frac{B \cdot Q}{B \cdot Q + C \cdot Q^n} \cdot 100$$

Selon cette approche, le débit critique de l'ouvrage est d'environ 26 m³/h.

5.4.2.3 Définition du débit d'exploitation de l'ouvrage

Par convention, le débit d'exploitation du forage doit respecter les préconisations suivantes :

- ne pas dépasser 80 % du débit critique,
- ne pas dépasser un rabattement total d'environ 1/3 de la colonne d'eau dans l'ouvrage, à savoir pour ce cas d'étude, un rabattement maximum d'environ 10 m,

compte tenu de la coupe géologique du forage, il peut être ajouté la règle suivante :

- ne pas dénoyer les horizons supposés les plus productifs, à savoir les Sables de Cuise situés entre 16 et 26 m/sol, soit un rabattement total équivalent de 9 à 10 m en prenant en compte un niveau statique vers les 17 m/sol.

En suivant ces préconisations, le débit d'exploitation du forage F1 serait d'environ 20 à 21 m³/h, pour un rabattement après 1 h de pompage à environ 6 à 7 m.

Néanmoins, ce débit doit être confirmé par les résultats de l'essai de nappe (cf. chapitre 5.5) et par la simulation du fonctionnement du forage en phase exploitation (cf. chapitre 7).

5.4.2.4 Courbe rabattements / débits ou courbe caractéristique de l'ouvrage

La figure page suivante présente la courbe caractéristique de l'ouvrage.

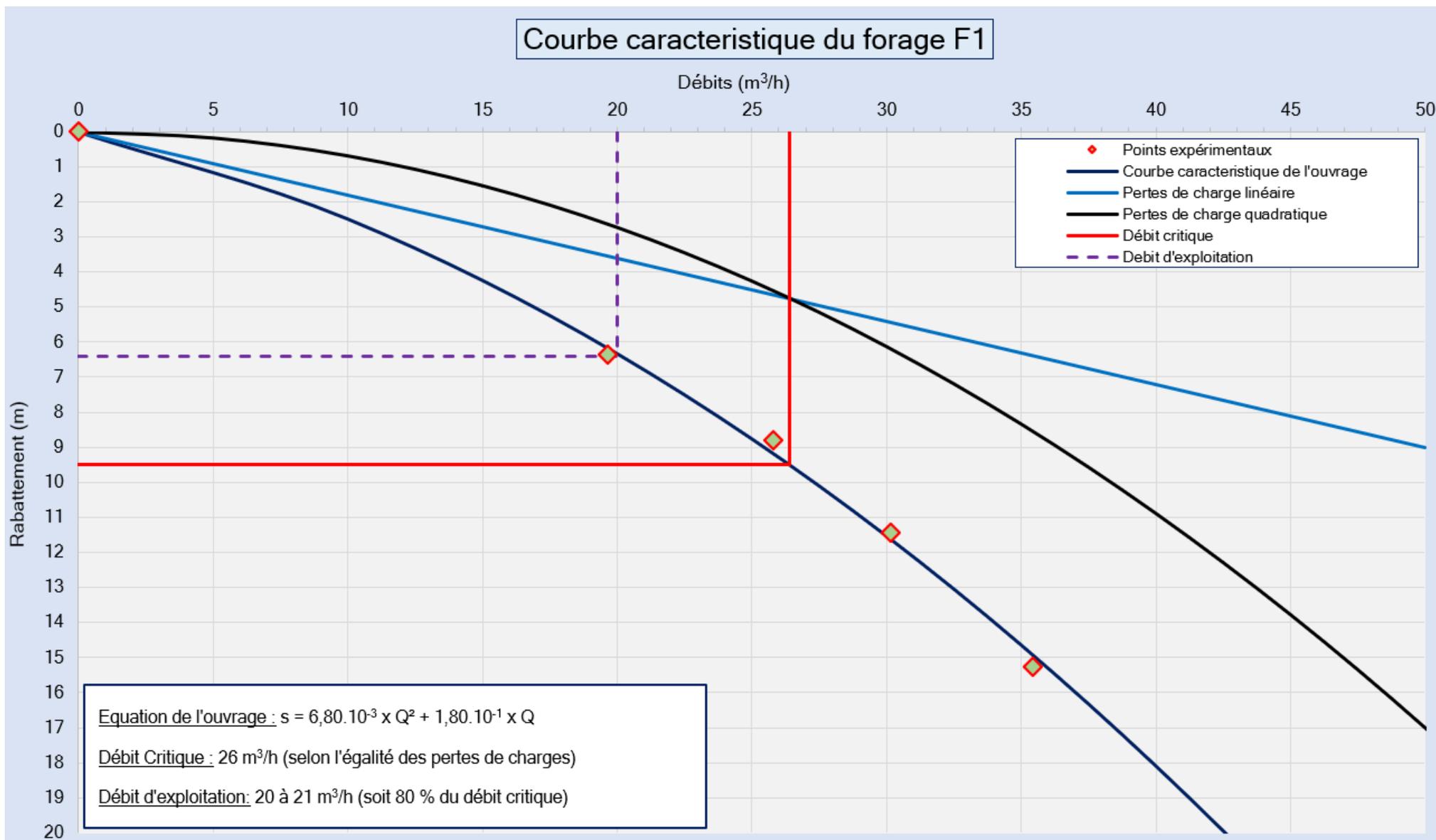


Figure 9 : Courbe caractéristique de l'ouvrage

5.5 Essai de nappe (essai longue durée)

5.5.1 Présentation des données d'essai

L'essai de nappe a été réalisé :

- pour la phase pompage, le 18 octobre 2023, sur une durée de 12 h,
- pour la phase de remontée, le 19 au 20 octobre 2023, sur une durée de plus de 35 h.

Le débit moyen de l'essai était de 27,07 m³/h et a été contrôlé tout au long de l'essai au compteur volumétrique.

Ce débit a oscillé entre 27,44 m³/h en début et 26,89 m³/h en fin de pompage, soit un débit pouvant être qualifié de stable tout au long de l'essai.

Le tableau ci-dessous présente les principaux paramètres de l'essai :

Ouvrage	Durée de pompage (h)	Débit moyen (m ³ /h)	Niveau supposé statique (m/HT)	Rabattement total (m)	Temps à 80 % de la remontée totale	Durée totale de la remontée
F1	12,00	27,07	16,99	13,20	36 min	> 35 h

Tableau 12 : Principaux paramètres de l'essai de nappe

A noter qu'il a été retenu un débit d'essai d'environ 26 / 27 m³/h afin :

- d'évaluer le comportement de la nappe soumise au débit critique de l'ouvrage,
- d'évaluer une potentielle stabilisation du rabattement dans le temps en-dessous de la cote de rabattement maximal admissible retenu à savoir 9 / 10 m (soit 26 / 27 m/HT).

Il est présenté en pages suivantes les données de l'essai observé au forage F1, à savoir :

- la chronique totale du rabattement sur graphique arithmétique,
- les chroniques du rabattement en phase pompage sur graphique semi-log,
- les chroniques du rabattement en phase remontée sur graphique semi-log,

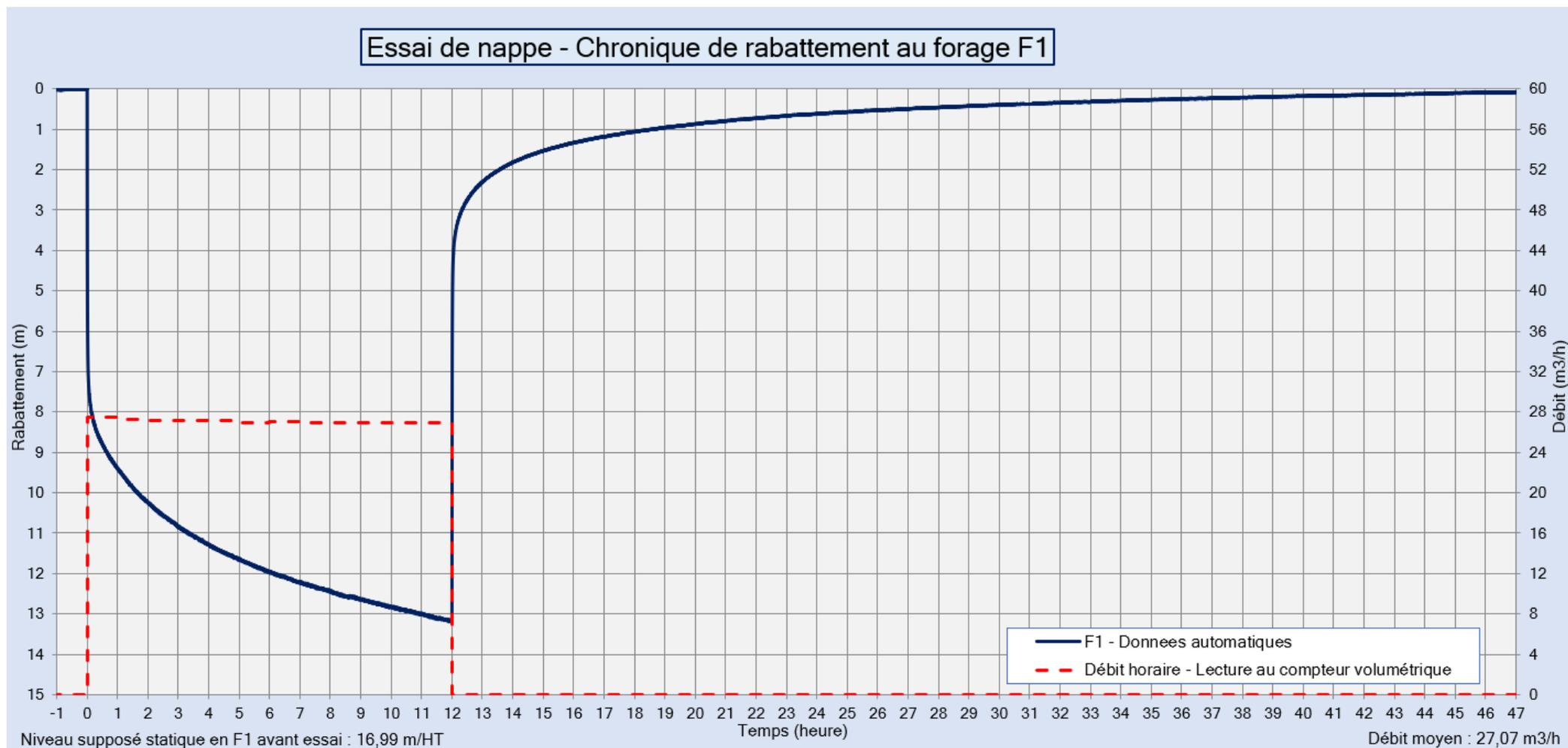


Figure 10 : Chronique de rabattement en F1 lors de l'essai de nappe - Graphique arithmétique

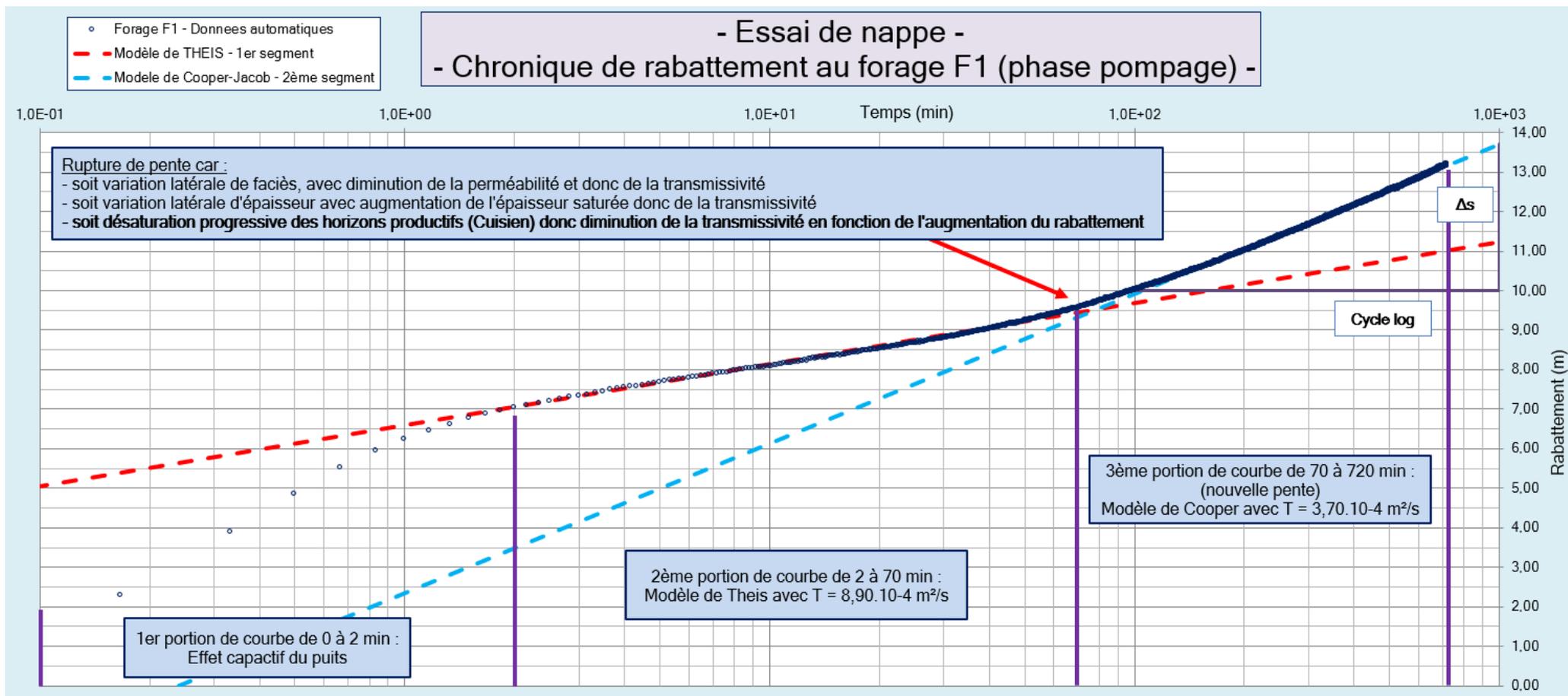


Figure 11 : Chronique de rabattement au forage F1 - Phase de pompage - Graphique semi-log

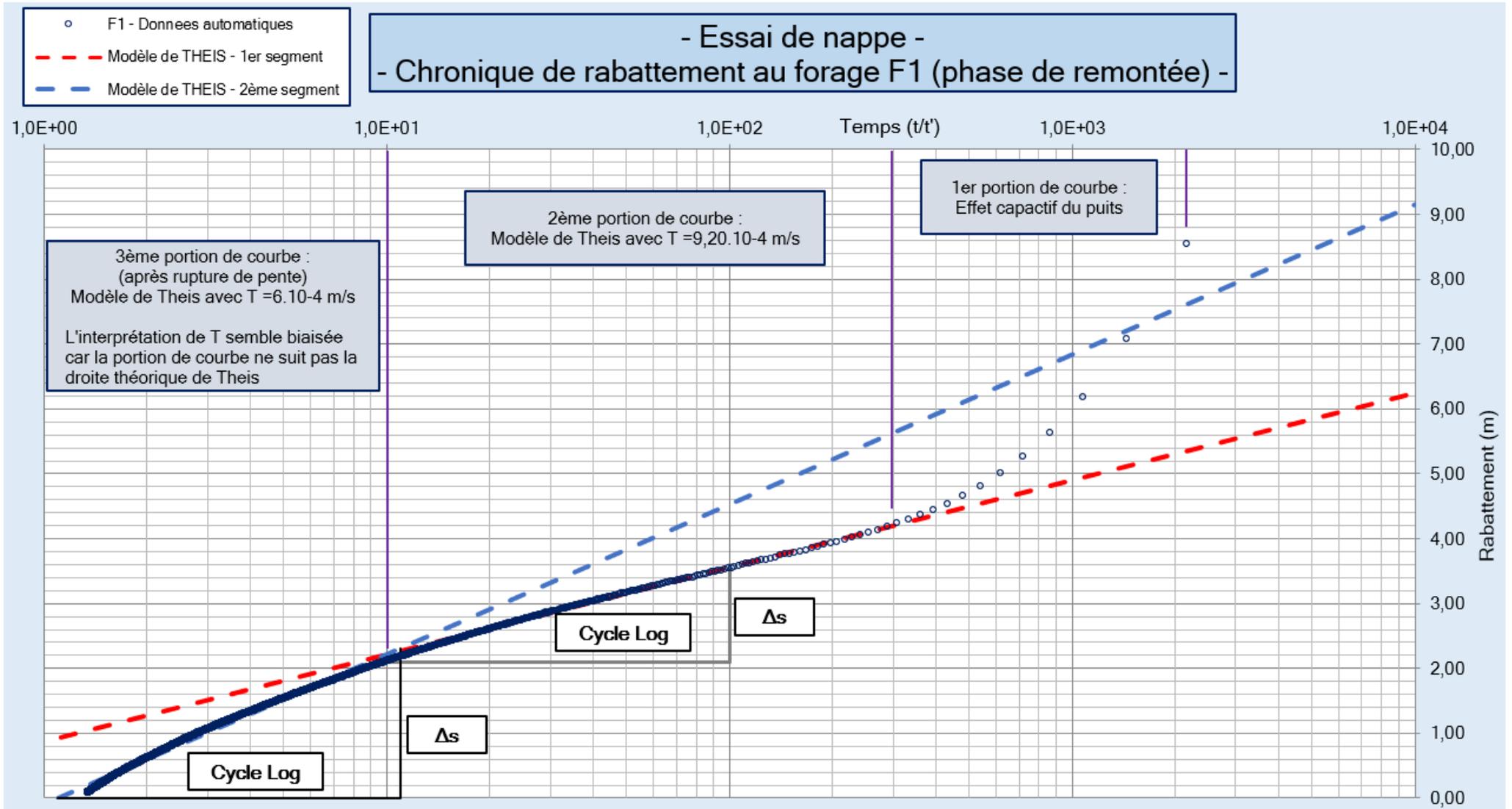


Figure 12 : Chronique de remontée au forage F1 - $s = f(t/t')$ - Graphique semi-log

5.5.2 Commentaires sur les données de l'essai de nappe

Les données sur graphique arithmétique permettent d'observer :

- à 27 m³/h, le rabattement dans le forage n'avait toujours pas stabilisé après 12 heures de pompage, avec un rabattement de 12,00 m observée à 6 h de pompage, puis de 13,20 m à 12 h de pompage,
- compte tenu de ces forts rabattements non stabilisés après plus de 12 h de pompage. Il peut en être conclu que le débit d'exploitation devra être bien en-deçà de 27 m³/h.
- la recharge de la nappe est relativement lente, avec un niveau observé en début d'essai de 17 m/HT non retrouvé après plus de 35 h de remontée,

Les données sur graphique en semi-log pour la phase de pompage permettent d'observer :

- de 0 à 2 min de pompage, une 1^{ère} portion de courbe avec un fort rabattement d'environ 0 à 7 m, traduisant l'effet capacitif de puits, c'est-à-dire la vidange de l'eau contenue dans le forage avant apport d'eau par le réservoir souterrain,
- de 0 à 70 min, une 2^{ème} portion de courbe se calant relativement bien au modèle théorique de Theis, traduisant la réelle transmissivité du milieu au voisinage du forage,
- de 70 à 720 m et à partir de 9 à 10 m de rabattement, une 3^{ème} portion de courbe à pente plus forte, traduisant l'apparition d'une transmissivité plus faible, expliquée :
 - soit par l'apparition d'une variation latérale de faciès, c'est-à-dire l'apparition de matériaux moins perméables en s'éloignant du forage de captage,
 - soit une baisse progressive de la transmissivité en raison de la désaturation des horizons productifs en tête d'aquifère saturée par une nappe libre,
- compte tenu de l'absence d'une rupture de pente franche, la deuxième hypothèse sera privilégiée. Cette observation est relativement importante car elle conditionne la productivité finale du forage, à savoir ne pas dépasser un rabattement maximum d'environ 9 à 10 m afin de garder la productivité du réservoir captée.

A noter qu'en comparant ces rabattements à ne pas dépasser et la coupe géologique du forage, pour un niveau statique supposé à 17 m/ HT et un rabattement d'environ 9 à 10 m, ce rabattement correspond vraisemblablement à la désaturation totale de l'horizon sableux des Sables de Cuise compris entre 16 et 26 m/sol.

Les données sur le graphique en semi-log pour la phase de remontée permettent d'observer :

- les mêmes portions de courbe qu'observées qu'en phase pompage,
- néanmoins, la dernière portion de courbe (comprise entre 1 et 10 t/t') ne présente pas une droite franche permettant de renforcer l'hypothèse d'une diminution de la transmissivité avec l'augmentation du rabattement au droit du forage.

De par ces données, il peut en être conclu que le rabattement maximal admissible au droit du forage devra être d'environ 9 à 10 m, soit environ 26,00 m/HT.

Le débit d'exploitation ne devra pas excéder les 20 à 21 m³/h comprenant une période de mise en repos de la nappe au minimum égale à celle de pompage afin de permettre une certaine recharge de nappe au droit du captage (cf. chapitre 7 - Validation du débit d'exploitation).

5.5.3 Paramètres hydrodynamiques du réservoir

5.5.3.1 Solutions analytiques retenues pour l'interprétation de l'essai

Compte tenu des courbes d'essai, il a été retenu la solution de Theis pour l'interprétation des deuxièmes portions de courbe et la solution de Cooper Jacob pour les dernières portions.

Interprétation en régime transitoire - Phase pompage - Solution de Theis

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot W(u)$$

s = le rabattement mesuré dans un piézomètre à une distance r d'un puits (m),
 Q = le débit de pompage (m³/d),
 T = la transmissivité de l'aquifère (m²/d),
 u = et donc S = ,
 t = le temps depuis le début du pompage (d),
 S = l'emmagasinement de l'aquifère (-),
 W(u) = (Fonction de Theis).

Interprétation en régime transitoire - Phase remontée - Solution de Theis

$$s = \frac{2,30 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \log\left(\frac{t}{t'}\right)$$

Q = débit de pompage (m³/h)
 s = rabattement (m)
 t = temps de pompage (h)
 t' = temps depuis l'arrêt du pompage (h)
 T = transmissivité (m²/h)

Interprétation en régime transitoire - Phase pompage - Solution de Cooper-Jacob

$$s = \frac{2,30 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot \log \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S}$$

s = le rabattement mesuré dans un piézomètre à une distance r d'un puits
 r = la distance entre le puits de pompage et un piézomètre
 Q = le débit de pompage
 T = la transmissivité de l'aquifère
 t = le temps depuis le début du pompage
 S = l'emmagasinement de l'aquifère

5.5.3.2 Résultats des interprétations

Les graphiques d'interprétation sont présentés en page 22 et 23 de ce document. Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'interprétation de l'essai de nappe.

Ouvrage	Phase pompage		Phase remontée	
	Transmissivité (m ² /s)		Transmissivité (m ² /s)	
	1 ^{ère} interprétation de 2 à 70 min	2 ^{ème} interprétation 70 à 720 min	1 ^{ère} interprétation de 2 à 70 min	2 ^{ème} interprétation 70 à 720 min
F1	8,90.10 ⁻⁴	3,70.10 ⁻⁴	9,20.10 ⁻⁴	6,00.10 ⁻⁴

Tableau 13 : Résultats des interprétations en régime transitoire

Il est possible d'observer que les résultats obtenus sur la 2^{ème} interprétation ne sont pas cohérents entre la phase de pompage et celle de remontée.

Cette différence s'explique par la diminution de la transmissivité vraie du réservoir en fonction de l'augmentation du rabattement dans le forage.

Par conséquent, la transmissivité du réservoir Yprésien / Sparnacien au droit du captage sera retenue à $T = 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

6 QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

Un prélèvement d'eaux souterraines a été effectué après 8 h de pompage lors de l'essai de nappe le 18/10/2023 au robinet de prise d'eau en sortie de pompe.

Les analyses ont été effectuées par un laboratoire agréé COFRAC. Les bordereaux d'analyses sont fournis en annexe 1.

La synthèse des résultats est présentée ci-dessous.

Ces résultats ont été comparés aux seuils réglementaires imposés par l'arrêté du 02/08/2010 relatif à la qualité des eaux pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts.

PARAMETRE	SYMBOLE	RESULTAT	Seuil arrêté 02/08/2010	Unité
Escherichia Coli	E. Coli	12,00	< 250,00	UFC / 100 ml
Matières En Suspension	MES	2,70	< 15,00	mg/l
Demande Chimique en Oxygène	DCO	< 5,00	< 60,00	
Conductivité à 25°C	-	768,00	Non demandé par l'arrêté	µS/cm
Température in-situ	T	14,00		°C
Potentiel Hydrogène in-situ	pH	7,50		-
Titre alcalimétrique complet (pH 4,3)	TAC	7,90		mmole/l
Dureté totale	-	3,90		mmole/l
Potentiel d'oxydo-réduction	RedOx	551,00		mV
Demande Biochimique en Oxygène	DBO5	< 1,00		mg/l
Fluorure	F	0,50		
Carbonate	CO ₃ ²⁻	< 6,00		
Chlorure	Cl	34,00		
Sulfates	SO ₄	71,00		
Phosphore	P	< 0,05		
Carbone Organique Dissous	COD	1,30		
Carbone Organique Total	COT	1,30		
Azote global	N	< 1,10		
Azote Kjeldahl	NTK	< 1,00		
Nitrate	NO ₃ ⁻	3,01		
Nitrite	NO ₂ ⁻	< 0,03		
Chrome hexavalent	Cr VI	< 0,005		
Calcium	Ca	110		
Aluminium	Al	< 0,01		
Fer	Fe	0,058		
Etain		< 0,01		
Chrome	Cr	0,002		
Cuivre	Cu	0,002		
Magnésium	Mg	29		
Mercuré	Hg	< 0,00003		
Nickel	Ni	0,008		
Plomb	Pb	< 0,0005		
Zinc		0,0029		

Tableau 14 : Résultats d'analyse du prélèvement d'eaux souterraines

Selon ces résultats, l'eau souterraine est conforme à l'usage attendu du projet, à savoir l'irrigation de culture.

7 VALIDATION DU DEBIT D'EXPLOITATION

7.1 Débit d'exploitation retenu

Compte tenu de la coupe géologique du forage et des résultats des essais, à savoir :

- un niveau supposé statique de la nappe libre situé vers les 16,60 m/HT,
- de l'horizon supposé le plus productif du réservoir capté entre 16,35 et 26,35 m/HT, soit correspondant aux sables fins gris / noir de l'Yprésien,
- un débit critique défini à 27 m³/h mais néanmoins, ne pouvant pas fournir un rabattement stabilisé sur de longue période de pompage,
- une baisse de la transmissivité / productivité du réservoir souterrain dépassée les 9 à 10 m de rabattement, soit dépassée les 26 à 27 m /sol,
- une transmissivité du réservoir au droit du forage égale à $T = 9.10^{-4}$ m²/s,
- de remontée de nappe (après arrêt de pompage) relativement lente à très lente,

Afin d'assurer un fonctionnement durable sur de longue période de pompage dans l'objectif de pérenniser le forage, il est préconisé :

- un débit d'exploitation d'environ 20 m³/h,
- avec un rabattement maximal admissible équivalent à 9,00 m, soit 26,00 m/sol,
- et une durée de mise au repos de la nappe équivalente à la durée de pompage.

7.2 Calibration du modèle analytique

A partir des données des essais de pompage, il est possible de calibrer un modèle analytique reproduisant le comportement de la nappe soumise à un pompage.

L'objectif de cette modélisation est de valider le débit d'exploitation préconisé en évaluant sur la période supposée de fonctionnement du forage (soit 5 mois) si le rabattement au droit de l'ouvrage ne dépasse pas le rabattement maximal admissible préconisé.

Cette modélisation analytique a été réalisée sous le logiciel AQTESOLV. Le modèle analytique retenu est celui de Papadopulos-Cooper prenant en compte l'effet capacitif de puits.

Après calibration, les paramètres du modèle sont donnés comme suit :

Solution	Epaisseur saturée (m)	Rayon du forage (m)	T (m ² /s)	S (-)
Papadopulos-Cooper	12,00	0,0965	9.10^{-4}	5.10^{-4}

Tableau 15 : Paramétrage du modèle de Papadopulos-Cooper

Afin d'approcher au mieux le fonctionnement du forage en condition d'exploitation, il a été retenu les données de pompage du 1^{er} palier de l'essai de puits pour la calibration du modèle.

La figure page suivante présente la calibration du modèle à partir des données in-situ. Sur cette figure, il est possible d'observer que le modèle analytique reproduit relativement bien le comportement de la nappe soumis à un pompage de $Q = 19,64$ m³/h pendant une heure.

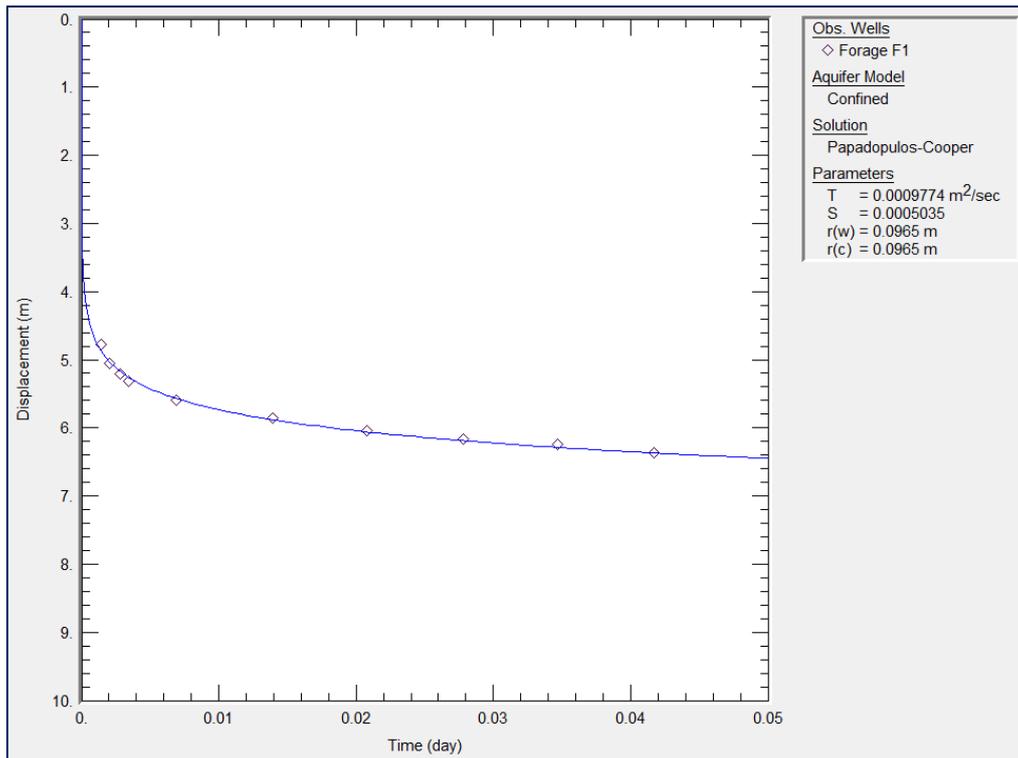


Figure 13 : Calibration du modèle analytique à partir des données in-situ

7.3 Simulation du forage en phase exploitation

La figure page suivante présente la simulation du rabattement au forage sur une période de 150 jours (5 mois) à un débit de 20 m³/h, pour une durée de pompage journalière de 12 h.

Par les résultats de cette simulation, il peut en être conclu la validation du débit d'exploitation de Q = 20 m³/h pour un pompage journalier de 12 h (avec 12 h de mise au repos de la nappe), sur une période de 5 mois.

En effet, après 5 mois d'exploitation du forage dans cette configuration, le rabattement maximal admissible de 9 à 10 m n'a pas été dépassé.

A noter que cette simulation reste une simplification de la réalité. Cette dernière est vraisemblablement sécuritaire car elle ne prend pas en compte :

- le battement naturel de la nappe, où le niveau statique retenu correspond à un niveau potentiellement de basses eaux,
- une potentielle limite hydrogéologique d'alimentation de la nappe, stabilisant le rabattement pendant les 5 mois d'exploitation.

Dans cette configuration préconisée, le volume total prélevé sur 5 mois serait de 36 000 m³.

Par conséquent, ce forage permettra de répondre à plus de la moitié du besoin annuel du projet agricole (soit 36 000 m³ contre 50 000 m³ attendus).

Afin de répondre totalement aux besoins du projet, il est attendu la réalisation d'un second forage de captage ou d'optimiser les besoins / volumes en eau pour les cultures.

Dans le cas échéant, des études complémentaires sont à prévoir, notamment quant à la distance minimale à respecter entre forages afin de pas nuire à la productivité de ces derniers.

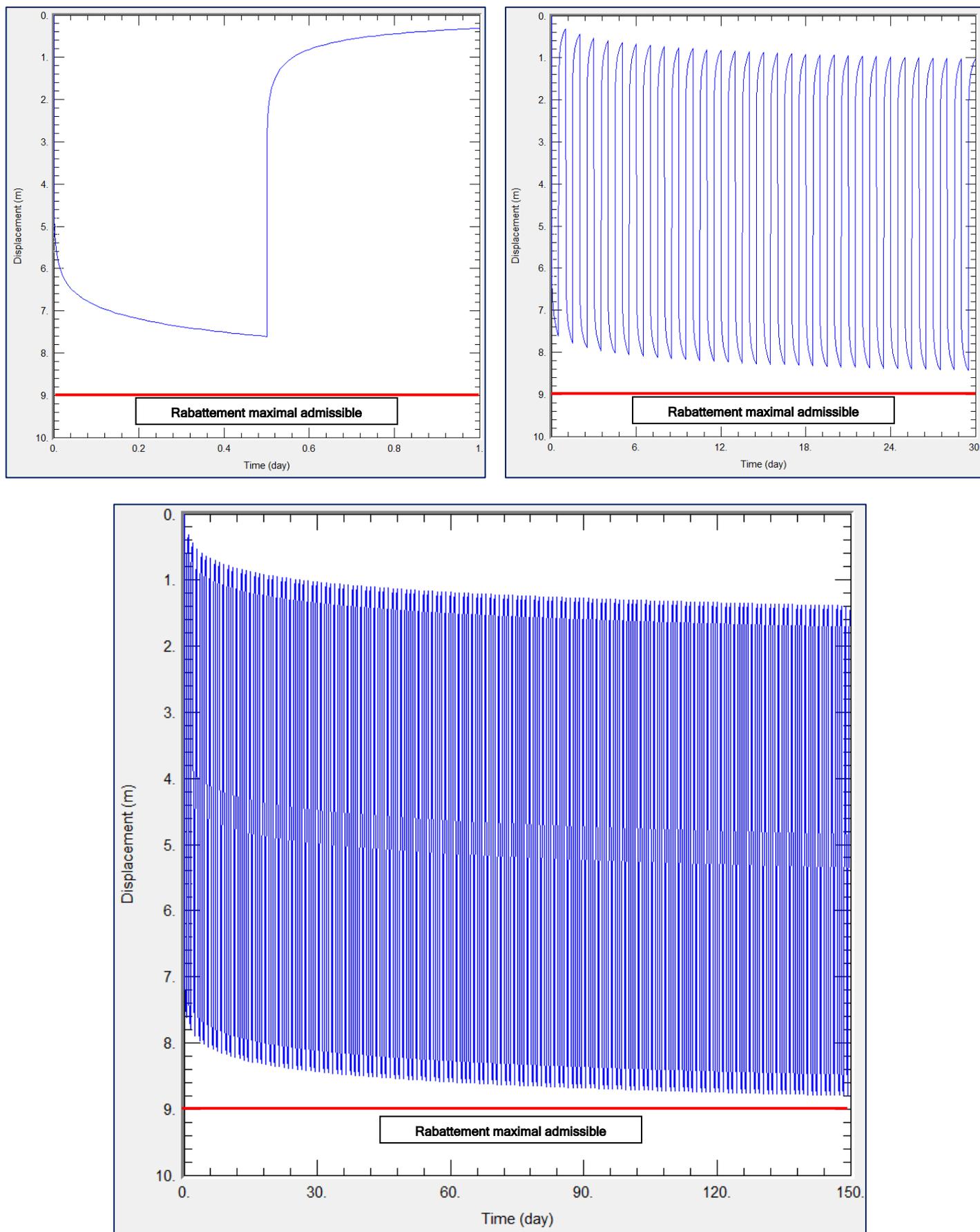


Figure 14 : Simulation du fonctionnement du forage sur une durée de 5 mois

8 FONCTIONNEMENT, SUIVI ET ENTRETIEN

8.1 Mode de fonctionnement de l'ouvrage

Compte tenu de l'ensemble des éléments présentés dans ce document, la société COMIREM SCOP préconise un fonctionnement de forage comme suit :

- un débit d'exploitation maximum de 20 m³/h,
- une durée d'exploitation journalière de maximum 12 heures, et par conséquent, une mise au repos de la nappe (absence de pompage) pendant minimum 12 heures,
- un niveau dynamique maximal admissible retenue à 26,35 m/HT,
- soit un rabattement maximal admissible à ne pas dépasser d'environ 9 à 10 m en prenant en compte un niveau statique de nappe vers les 16,50 / 17,00 m/HT.

8.2 Mode de fonctionnement du dispositif de pompage

Par sécurité, il est conseillé de mettre en place la pompe immergée en fond de forage entre 42 et 45 m/sol, soit devant le tubage Inox Plein afin d'éviter l'entraînement de fines pouvant déstabiliser l'ouvrage.

Cette pompe devra être située à plus de 1 m du tube décanteur, soit une base de pompe vers les 45 m au maximum.

Afin d'éviter une surchauffe, cette pompe devra disposer d'une chemise de refroidissement.

Le débit nominal de cette pompe devra être au maximum de 20 m³/h.

Afin de pérenniser le dispositif de pompage dans le temps, il est recommandé :

- de ne pas exploiter la pompe en-dessous du débit minimal indiqué par le fabricant et au-dessus de 20 m³/h (débit d'exploitation maximum préconisé),
- de ne pas dépasser le nombre maximal de démarrages par jour indiqué par le fabricant,
- de laisser un temps de repos d'environ 10 min entre chaque démarrage afin de prévenir des coups de bélier dans la pompe ou la colonne d'exhaure,
- à chaque démarrage, d'augmenter progressivement (et non brusquement) le débit de la pompe, afin d'éviter l'usure prématurée de l'ouvrage ou/et de la pompe immergée,
- le démarrage progressif devra être contrôlé par un boîtier de commande (variateur de fréquence), préalablement réglé selon les préconisations d'utilisation du fabricant et en aucun cas être modifié. Aucun branchement direct de la pompe ne devra être réalisé afin de veiller à la pérennité de la pompe immergée,
- de mettre en place une sonde manque d'eau située à plus de 2 m du haut de la pompe immergée afin de prévenir tout dénoyage de la pompe.

A noter qu'un tube guide sonde et un robinet de prise d'eau devront être mis en place lors de l'installation de la pompe permettant d'évaluer les niveaux d'eau et la qualité de la nappe.

8.3 Préconisations sur l'entretien et la surveillance de l'ouvrage

Selon l'arrêté du 11/09/2003, les préconisations sur l'entretien et la surveillance sont :

- contrôle des pertes de charge du forage, effectué au moins tous les semestres. Ce contrôle peut être réalisé par l'évaluation directe du débit d'exhaure, si ce dernier diminue ou si le rabattement total au droit du puits dépasse 9 à 10 m (soit 26 m/HT), un essai de puits devra être réalisé afin d'évaluer quantitativement les pertes de charge du forage,
- contrôle du fond à chaque remontée de pompe et/ou tous les trois ans. Un comblement brutal ou progressif traduit un dysfonctionnement qu'il faudra traiter immédiatement,
- contrôle de l'état des tubages par inspection caméra. La périodicité du contrôle de l'état intérieur du forage sera à minima effectué tous les 3 ans,
- analyse de la qualité des eaux à minima tous les ans. Un contrôle hebdomadaire de la présence ou non de sables, de substances gélatineuses ou d'éléments rougeâtres dans l'eau est recommandé,
- nettoyage de l'ouvrage tous les 10 ans. Il comprend un curage des éventuels sédiments déposés en fond du forage par air-lift, un brossage des tubages plein et crépines et d'un traitement chimique (hexamétaphosphate),
- respect du débit maximum d'exploitation préconisé précédemment. En cas de dépassement, un risque de réorganisation de la granulométrie des particules du forage et d'arracher des particules du terrain ou du massif filtrant, de créer des « ponts de sable » entraînant l'abrasion et le colmatage des crépines, de la pompe et de la colonne d'exhaure,
- respect des préconisations du constructeur de la pompe immergée :
 - ne pas dépasser le nombre maximal de démarrages par heure,
 - ne pas chercher à se placer sous le débit minimal de la pompe,
 - contrôler le fonctionnement du clapet anti-retour au moins une fois par an,
 - contrôler au moins tous les trimestres des paramètres électriques de la pompe,
 - éviter de laisser la pompe à l'arrêt total plus d'un mois,
- contrôle visuelle de l'état de la colonne d'exhaure à chaque remontée de pompe. Le matériau de la colonne d'exhaure doit être adapté à la chimie de l'eau,
- contrôle de la tête de forage tous les ans : état, stabilité et étanchéité,
- utilisation d'un compteur ou débitmètre adapté au débit et à la pression d'utilisation,
- contrôle hebdomadaire des débits et des niveaux dynamiques lors la période de fonctionnement du forage. Les données horodatées devront être consignées.

Pour information, un forage d'eau est un ouvrage ayant une durée de vie limitée (environ 30 à 50 ans, voire beaucoup plus si bien entretenu).

Les caractéristiques hydrauliques de l'ouvrage évoluent dans le temps en fonction de son vieillissement prématuré ou non. Afin de déterminer l'état évolutif de l'ouvrage, il est recommandé à minima de réaliser un essai de puits dans l'ouvrage tous les 3 ans.

L'objectif est d'évaluer la courbe caractéristique de l'ouvrage par rapport à celle de l'état initial et ainsi de déterminer si une quelconque dégradation de l'état du puits est constatée.

8.4 Mise en conformité de la tête de forage

Actuellement (novembre 2023), le forage est scellé en tête par un capot métallique soudé au tubage Acier de l'avant trou. Par conséquent, ce forage est protégé contre les pollutions de surface ou l'intrusion de corps étrangers.

Néanmoins, à terme et avant exploitation de l'ouvrage, la tête de forage devra être mise en conformité selon la fiche du guide d'application de l'arrêté interministériel du 11/09/2003.

Si la tête de forage reste en aérienne, il devra être mis en place :

- une margelle bétonnée autour du tubage Acier, conçue de manière à éloigner les eaux de la tête du forage, d'une surface minimale de 3 m² et d'une hauteur de 0,30 m au-dessus du niveau du terrain actuel,
- un capot de fermeture permettant un isolement parfait du forage hormis pour laisser passer la colonne d'exhaure de la pompe et un " tube guide sonde ".

Si un local (aérien) ou une chambre de comptage (souterrain) est souhaité :

- la margelle n'est pas nécessaire,
- la hauteur du plafond du local devra être à plus de 0,50 m au-dessus du terrain actuel,
- pour une chambre de comptage (souterrain), la tête de forage devra s'élever à plus de 0,50 m du fond de la chambre de comptage où elle débouche,
- pour un local de pompage (aérien), la tête de forage devra s'élever à plus de 0,20 m du fond du local où elle débouche.



Figure 15 : Exemple de mise en sécurité d'une tête de forage

Enfin, la tête de forage doit être identifiée par une plaque mentionnant les références du récépissé de déclaration.

8.5 Préconisations quant aux comblements de forage

8.5.1 Réglementation

Tout forage représente une zone potentielle de contamination de la nappe. En l'absence de suivi et d'entretien, les forages abandonnés constituent des sources potentielles de pollution des eaux souterraines. L'abandon des puits et forages doit donc se faire dans le respect des règles de l'art et comprendre le comblement de l'ouvrage.

L'arrêté interministériel du 11 septembre 2003 portant application du décret n°96-102 du 2 février 1996, doit être suivi pour le comblement de forage, ce dernier ayant été modifié par l'arrêté du 7 août 2006.

Le comblement doit suivre les prescriptions de la norme NF X10-999 intitulée " Réalisation, suivi et abandon d'ouvrages de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages " et doit être effectué préférentiellement par un foreur expérimenté.

8.5.2 Aspect administratif

Le déclarant doit communiquer au Préfet dans les deux mois qui suivent le comblement, un rapport de travaux précisant les références de l'ouvrage comblé, l'aquifère précédemment concerné, les travaux de comblement effectués.

Le rapport de comblement de l'ouvrage devra être adressé au responsable de la Police de l'Eau. Cette procédure met fin aux obligations d'entretien et de surveillance de l'ouvrage.

8.5.3 Aspect technique

Suivant l'article 13 de l'arrêté interministériel du 11 septembre 2003 :

"Tout sondage, forage, puits, ouvrage souterrain abandonné est comblé par des techniques appropriées permettant de garantir l'absence de circulations d'eau entre les différentes nappes d'eau souterraine contenues dans les formations géologiques aquifères traversées et l'absence de transfert de pollution".

Le chantier devra être organisé de manière à minimiser, voire à supprimer les risques de pollution accidentelle durant les travaux de comblement. Par exemple, les produits potentiellement polluants seront éloignés de l'ouvrage de pompage.

La pompe et tout autre équipement présents dans le système de pompage devront être retirés.

Un contrôle visuel est préconisé lorsque des présomptions de dégradations sont existantes.

La connaissance de l'ouvrage permettra d'adapter le programme de comblement afin de protéger durablement la ressource. Si des objets ou produits polluants sont tombés dans le forage, ils devront être extraits.

Le ciment injecté pour combler l'ouvrage doit être compatible avec la qualité chimique de l'eau.

Les travaux de comblement doivent être suivi par un géologue confirmé. Un compte rendu des travaux sera établi et contiendra les informations suivantes : date des travaux, coordonnées géographiques, aquifère concerné, coupe technique détaillée de l'ouvrage, description de la méthode de comblement.

Les schémas ci-dessous sont extraits du guide d'application de l'arrêté interministériel du 11 septembre 2003, et présentent deux types de comblement.

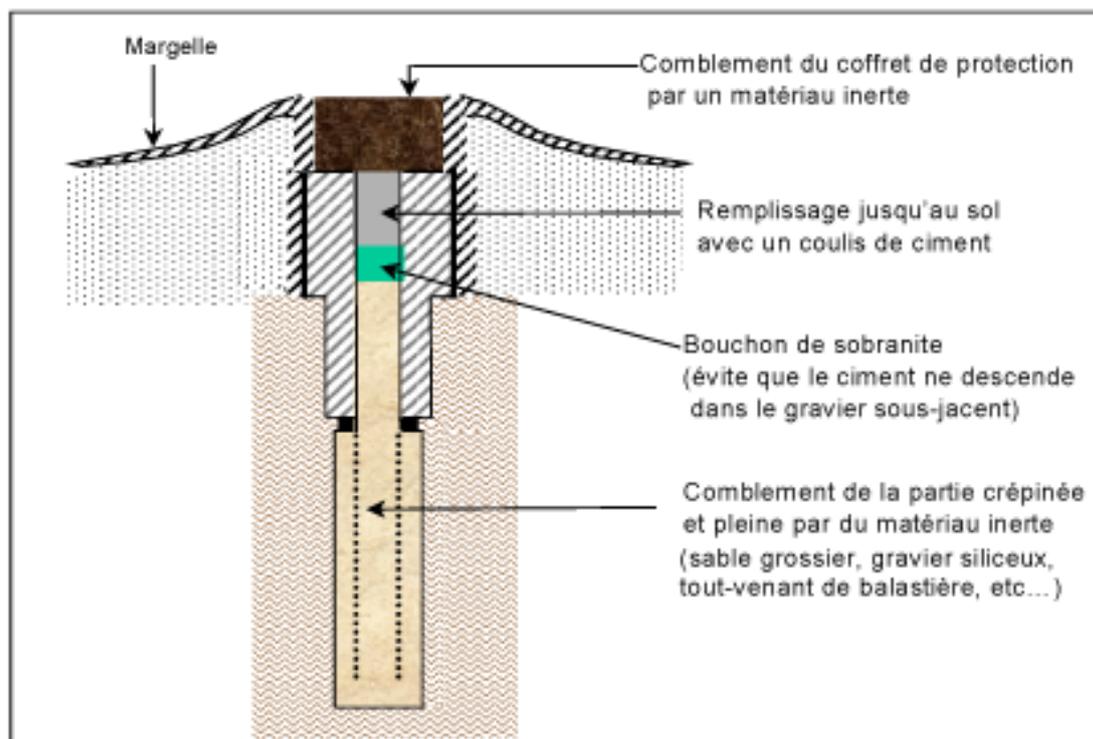


Illustration 24 - Exemple d'un forage abandonné après exploitation et comblé.
Source documentaire BRGM : d'après la plaquette « Le forage en Bretagne »

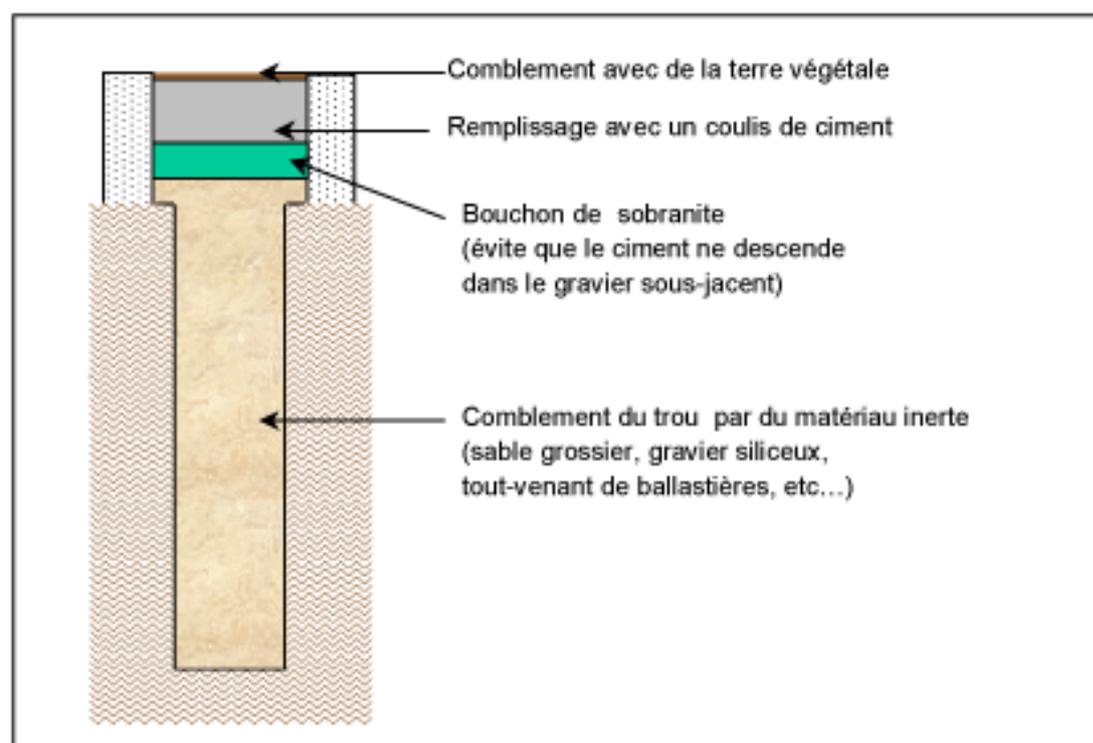


Illustration 25 - Exemple d'un forage non conservé, jugé improductif, non équipé et comblé.
Source documentaire BRGM : d'après la plaquette « Le forage en Bretagne »

Figure 16 : Exemples de comblement d'ouvrages

ANNEXE 1 - ANALYSES DES EAUX DE NAPPE

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

COMIREM SCOP
Monsieur Pierre BAUCHET
26 rue Hubert Le Sellier de Chezelles
36130 DEOLS
FRANCE

Date 25.10.2023
N° Client 35004446
N° commande 1331324

RAPPORT D'ANALYSES

Cde 1331324 Eau

Client 35004446 COMIREM SCOP
Référence 23086-23148-CH-PI-SansM
Date de validation 19.10.23
Prélèvement par: Client

Madame, Monsieur

Nous avons le plaisir de vous adresser ci-joint le rapport définitif des analyses chimiques provenant du laboratoire pour votre dossier en référence.

Nous signalons que le certificat d'analyses ne pourra être reproduit que dans sa totalité. Les annexes éventuelles font partie du rapport.

Nous vous informons que seules les conditions générales de AL-West, déposées à la Chambre du Commerce et de l'Industrie de Deventer, sont en vigueur.

Au cas où vous souhaiteriez recevoir des renseignements complémentaires, nous vous prions de prendre contact avec le service après-vente.

En vous remerciant pour la confiance que vous nous témoignez, nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur l'expression de nos sincères salutations.

Respectueusement,



AL-West B.V. Mme Fatima-Zahra Saati, Tel. 33/380680132
Chargée relation clientèle

Kamer van Koophandel Directeur
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer
NL 811132559 B01

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



AGROLAB GROUP

Your labs. Your service.

Cde 1331324 Eau

N° échant.	Nom de l'échantillon	Prélèvement	Site du prélèvement
464251	23148 - Sans Micro	12.10.2023 12:00	

Unité **464251**
23148 - Sans Micro

Analyses Physico-chimiques

Conductivité à 25°C (Lab)	µS/cm	768
pH (Lab.)		7,7
Température	°C	20,3
Carbonates	mg/l	<6
Titre alcalimétrique complet (pH 4,3)	mmole/l	7,9
Fluorures (F)	mg/l	0,50
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/l	<1,0
Chlorures	mg/l	34
Nitrates - N	mg/l	0,68
Nitrites - N	mg/l	<0,01
Phosphore total (P)	mg/l	<0,05
Sulfates	mg/l	71
Dureté totale	mmole/l	3,9
DBO 5	mg/l	<1
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	<5
Méthode DBO	Jours	(5)
Potentiel d'oxydo-réduction	mV	551 ^{*)}
Nombre de dilutions DBO5		3
Chrome VI	µg/l	<5,0
Carb. Org. Dissous (COD)	mg/l	1,3
Matières en suspension	mg/l	2,7
COT	mg/l	1,3
N-global	mg/l	<1,1 ^{x)}

Prétraitement pour analyses des métaux

Filtration métaux	++
-------------------	-----------

Métaux

Aluminium (Al)	µg/l	<10
Antimoine (Sb)	µg/l	<5,0
Arsenic (As)	µg/l	<5,0
Baryum (Ba)	µg/l	39
Cadmium (Cd)	µg/l	<0,10
Calcium (Ca)	µg/l	110000
Chrome (Cr)	µg/l	<2,0
Cuivre (Cu)	µg/l	<2,0

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole "*)".

Kamer van Koophandel Directeur
Nr. 08110898 ppa. Marc van Gelder
VAT/BTW-ID-Nr.: Dr. Paul Wimmer
NL 811132559 B01

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Cde 1331324 Eau

Unité **464251**
23148 - Sans Micro

Métaux

Etain (Sn)	µg/l	<10
Fer (Fe)	µg/l	58
Magnésium (Mg)	µg/l	29000
Mercure	µg/l	<0,030
Molybdène (Mo)	µg/l	3,4
Nickel (Ni)	µg/l	8,0
Plomb (Pb)	µg/l	<5,0
Sélénium (Se)	µg/l	<5,0
Zinc (Zn)	µg/l	2,9

x) Les résultats ne tiennent pas compte des teneurs en dessous des seuils de quantification.

Explication: dans la colonne de résultats "<" signifie inférieur à la limite de quantification; n.d. signifie non déterminé.

les incertitudes de mesure analytiques spécifiques aux paramètres ainsi que les informations sur la méthode de calcul sont disponibles sur demande, si les résultats communiqués sont supérieurs à la limite de quantification spécifique au paramètre. Les critères de performance minimaux des méthodes appliquées sont généralement basés selon la Directive 2009/90/CE de la Commission Européenne en ce qui concerne l'incertitude de mesure.

Analyse des nitrates: une teneur en chlorure supérieure à 100 mg / l peut avoir un effet négatif sur la teneur en nitrates.

Analyse des nitrites : le chlore libre peut interférer avec la détermination des nitrites.

Analyse de la DBO-5 : L'analyse a été réalisée avec suppression de la nitrification. Le nombre de réplique pour la mesure est de un.

La méthode d'analyse de la DBO5 est effectuée conformément à la norme en (5) jours ou (2 + 5) jours.

Phosphore total : préparation selon NEN 6663 (1987), mesure conforme à NEN-ISO 15923-1.

Début des analyses: 19.10.2023

Fin des analyses: 25.10.2023

Les résultats portent exclusivement sur les échantillons analysés. Si le laboratoire n'est pas responsable de l'échantillonnage, les résultats correspondent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Le laboratoire n'est pas responsable des informations fournies par le client. Les informations du client, le cas échéant, présentées dans le présent rapport d'essai ne sont pas soumises à l'accréditation du laboratoire et peuvent affecter la validité des résultats d'essai. La reproduction d'extraits de ce rapport sans notre autorisation écrite n'est pas autorisée.



AL-West B.V. Mme Fatima-Zahra Saati, Tel. 33/380680132
Chargée relation clientèle

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Cde 1331324 Eau

Liste des méthodes

calculée à partir de analyse conform **NEN-EN-ISO 17294-2(2004)** : Dureté totale

Conforme à **EN 1484 (déterminé comme CONP)** : Carb. Org. Dissous (COD) COT

Conforme à **EN 872** : Matières en suspension

Conforme à **EN-ISO 9963-1** : Carbonates

Conforme à **EN-ISO17294-2 (2004)** : Aluminium (Al) Antimoine (Sb) Arsenic (As) Baryum (Ba) Cadmium (Cd) Calcium (Ca)
Chrome (Cr) Cuivre (Cu) Etain (Sn) Fer (Fe) Magnésium (Mg) Molybdène (Mo) Nickel (Ni)
Plomb (Pb) Sélénium (Se) Zinc (Zn)

Conforme à **EPA218.6 (1991) / EPA 7199 (1996)** : Chrome VI

Conforme à **ISO 10523** : pH (Lab.) Température

Conforme à **ISO 15923-1** : Chlorures Nitrates - N Nitrites - N Sulfates

Conforme à **ISO 7888** : Conductivité à 25°C (Lab)

Conforme à **NEN 6578** : Fluorures (F)

Conforme à **NEN 6642 (somme l'azote Kjeldahl, nitrite, nitrate)** : N-global

Conforme à **NEN 6646** : Azote Kjeldahl (NTK)

conforme à **NEN-EN-ISO 12846** : Mercure

Conforme à **NF T 90-101** : Demande chimique en oxygène (DCO)

Conforme **NEN-EN-ISO 5815-1** : Nombre de dilutions DBO5

Conforme **NEN-EN-ISO 5815-1, équivalent à NEN-EN 1899-1 (1998)** : DBO 5 Méthode DBO

Conforme **NEN-EN-ISO 9963-1** : Titre alcalimétrique complet (pH 4,3)

DIN 38404 C6 *) : Potentiel d'oxydo-réduction

Équivalent à **EN-ISO 15681-2** : Phosphore total (P)

<Sans objet> : Filtration métaux

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités sont marqués du symbole "*)".

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Annexe de N° commande 1331324

CONSERVATION, TEMPS DE CONSERVATION ET FLACONNAGE

Le délai de conservation des échantillons est expiré pour les analyses suivantes :

Chrome VI	464251
DBO 5	464251
Potentiel d'oxydo-réduction	464251
Conductivité à 25°C (Lab)	464251
Carb. Org. Dissous (COD)	464251
Matières en suspension	464251
Température	464251
pH (Lab.)	464251
Mercure	464251

Les paramètres réalisés par AL-West BV sont accrédités selon la norme EN ISO/IEC 17025:2017. Seuls les paramètres non accrédités et/ou externalisés sont marqués du symbole " (*) " .

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl



COMIREM SCOP
Monsieur Pierre BAUCHET
26 rue Hubert Le Sellier de Chezelles
36130 DEOLS
FRANCE

Date 20.10.2023
N° Client 35004446
N° commande 1331323

RAPPORT D'ANALYSES

Cde 1331323 Eau

Client 35004446 COMIREM SCOP
Référence 23085-23148-CH-PI-Micro
Date de validation 19.10.23
Prélèvement par: Client

Madame, Monsieur

Nous avons le plaisir de vous adresser ci-joint le rapport définitif des analyses chimiques provenant du laboratoire pour votre dossier en référence.

Nous signalons que le certificat d'analyses ne pourra être reproduit que dans sa totalité. Les annexes éventuelles font partie du rapport.

Nous vous informons que seules les conditions générales de AL-West, déposées à la Chambre du Commerce et de l'Industrie de Deventer, sont en vigueur.

Au cas où vous souhaiteriez recevoir des renseignements complémentaires, nous vous prions de prendre contact avec le service après-vente.

En vous remerciant pour la confiance que vous nous témoignez, nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur l'expression de nos sincères salutations.

Respectueusement,

AL-West B.V. Mme Fatima-Zahra Saati, Tel. 33/380680132
Chargée relation clientèle

AL-West B.V.

Dortmundstraat 16B, 7418 BH Deventer, the Netherlands
Tel. +31(0)570 788110
e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl

Cde 1331323 Eau

N° échant.	Nom de l'échantillon	Prélèvement	Site du prélèvement
464250	23148-Microbio	19.10.2023 12:00	

Unité **464250**
23148-Microbio

Autres analyses

E. coli	UFC/100ml	12 ^{u)}
---------	-----------	-------------------------

les incertitudes de mesure analytiques spécifiques aux paramètres ainsi que les informations sur la méthode de calcul sont disponibles sur demande, si les résultats communiqués sont supérieurs à la limite de quantification spécifique au paramètre. Les critères de performance minimaux des méthodes appliquées sont généralement basés selon la Directive 2009/90/CE de la Commission Européenne en ce qui concerne l'incertitude de mesure.

Début des analyses: 19.10.2023
Fin des analyses: 20.10.2023

Les résultats portent exclusivement sur les échantillons analysés. Si le laboratoire n'est pas responsable de l'échantillonnage, les résultats correspondent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Le laboratoire n'est pas responsable des informations fournies par le client. Les informations du client, le cas échéant, présentées dans le présent rapport d'essai ne sont pas soumises à l'accréditation du laboratoire et peuvent affecter la validité des résultats d'essai. La reproduction d'extraits de ce rapport sans notre autorisation écrite n'est pas autorisée.



AL-West B.V. Mme Fatima-Zahra Saati, Tel. 33/380680132
Chargée relation clientèle

Liste des méthodes

EN ISO 9308-1 : 2017-09 (BB) ^{u)}: E. coli

^{u)} Sous-traitance a un laboratoire du groupe Agrolab.

Analyse par (autre laboratoire)

(BB) Dr. Blasy-Dr. Busse Niederlassung der AGROLAB Labor GmbH, Moosstrasse 6 a, 82279 Eching / Ammersee, pour la méthode citée accréditée selon le référentiel DIN EN ISO/IEC 17025:2018, La procédure d'accréditation: D-PL-14289-01-00 DAkkS

Méthode

EN ISO 9308-1 : 2017-09