SIEGE SOCIAL
2 Allée Dache Dise
40180 HINX
Tél : 05.58.98.55.66 - Fax : 05.58.98.47.72

Agence BORDEAUX
33 Rue El Alamein
33400 TALENCE
Tél : 05.56.90.82.41 - Fax : 05.56.90.82.42

H Y D R O A S S I S T A N C E I N G E N I E R I E

http://www.hydro-assistance.fr

GEOTHERMAQ
Géothermie d'Aquitaine

GEOTHERMAQ

MAITRE D'OUVRAGE : PSA PEUGEOT CITROEN

DIAGNOSTIC D'OUVRAGE

Juillet 2023

FORAGE F1 - 14120 MONDEVILLE

Département du Calvados

BSS000JBGW (01205X0007/F1)





Examen endoscopique - Test de pompage

Référence rapport : HA_09-2023/25



Table des matières

1 - PRESENTATION DE L'INTERVENTION 1
1.1 - MOTIF D'INTERVENTION 2
1.2 - DATES D'INTERVENTION 2
1.3 - OBJECTIFS 2
1.4 - INVESTIGATIONS REALISEES 2
1.5 - OPERATEURS 2

2 - LOCALISATION DE L'OUVRAGE 3
2.1 - SITUATION GEOGRAPHIQUE 4
2.2 - COORDONNEES 4

3 - PRESENTATION DE L'OUVRAGE 5
3.1 - IDENTIFICATION 6
3.2 - PHOTOGRAPHIE DU SITE 6
3.3 - ORIGINE DES MESURES 6
3.4 - DONNEES HYDROGEOLOGIQUES 6

4 - COUPES TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE 7
4.1 - COUPE TECHNIQUE 8
4.2 - COUPE GEOLOGIQUE 8

5 - EQUIPEMENTS D'EXPLOITATION 9
5.1 - REGIME D'EXPLOITATION 10
5.2 - POMPE 10
5.3 - COLONNE D'EXHAURE 10

6 - JOURNAL DES TRAVAUX 11

7 - EXAMEN ENDOSCOPIQUE 13
7.1 - CHAMBRE DE POMPAGE 14
7.2 - COLONNE CAPTANTE 14

8 - TEST DE POMPAGE 15
8.1 - POMPAGE PAR PALIERS - FORAGE F1 16
8.2 - POMPAGE PAR PALIERS - FORAGE F2 17
8.3 - TEST D'INJECTION SUR LE FORAGE F1 18
8.4 - POMPAGE DE LONGUE DUREE 19

9 - BILAN 21
9.1 - ETAT STRUCTUREL 22
9.2 - PRODUCTIVITE 22

10 - PRECONISATIONS 23

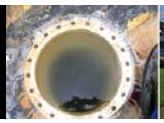




Table des annexes

ANNEXE 1 PRESENTATION DU SITE

ANNEXE 2 COUPE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE

ANNEXE 3 EQUIPEMENTS D'EXPLOITATION

ANNEXE 4 TEST DE POMPAGE

- SUIVI DU POMPAGE PAR PALIERS DU FORAGE F1
- COURBE CARACTERISTIQUE DU FORAGE F1
- SUIVI DU POMPAGE PAR PALIERS ET DE LONGUE DUREE DU FORAGE F2
- COURBE CARACTERISTIQUE DU FORAGE F2
- SUIVI D'INJECTION DU FORAGE F1
- COURBE CARACTERISTIQUE D'INJECTION DU FORAGE F1

ANNEXE 5 EXAMEN ENDOSCOPIQUE

1 - PRESENTATION DE L'INTERVENTION





1.1 - Motif d'intervention

DIAGNOSTIC DE L'OUVRAGE

Contexte : étude préliminaire du projet géothermique

1.2 - Dates d'intervention

06 AU 09 JUILLET 2023

1.3 - Objectifs

- contrôle du vieillissement et de l'état mécanique des équipements
- rendement des ouvrages

1.4 - Investigations réalisées

- **Examen endoscopique**
  (caméra télévisée numérique couleur multiplexée à tête orientable à visées axiale et radiale)
  Réalisé sans pompage : de 0.00 à 38.80 mètres

- **Test de pompage**

  Essai de puits F1
  Pompe immergée : diamètre 6"
  Installée à : 36.00 m/repère
  Débits pompés : 20.6, 40.3 et 59.1 m^3/h
  Durée des paliers : 1 heure
  ☒ enchaînés ☐ non enchaînés

  Essai de puits F2 vers F1 (test d'injection)
  (à partir de la pompe d'exploitation) Caractéristiques et position, non connues
  Débits pompés : 19.0, 38.6 et 50.5 m^3/h
  Durée des paliers : 1 heure
  ☒ enchaînés ☐ non enchaînés

  Essai de puits F2 vers F1 (test d'injection)
  (à partir de la pompe d'exploitation) Caractéristiques et position, non connues
  Débit pompé : 41.4 m^3/h
  Durée : 45h18

1.5 - Opérateurs

Frank LARRERE
Alexandre BANCELIN

2 - LOCALISATION DE L'OUVRAGE





2.1 - Situation géographique





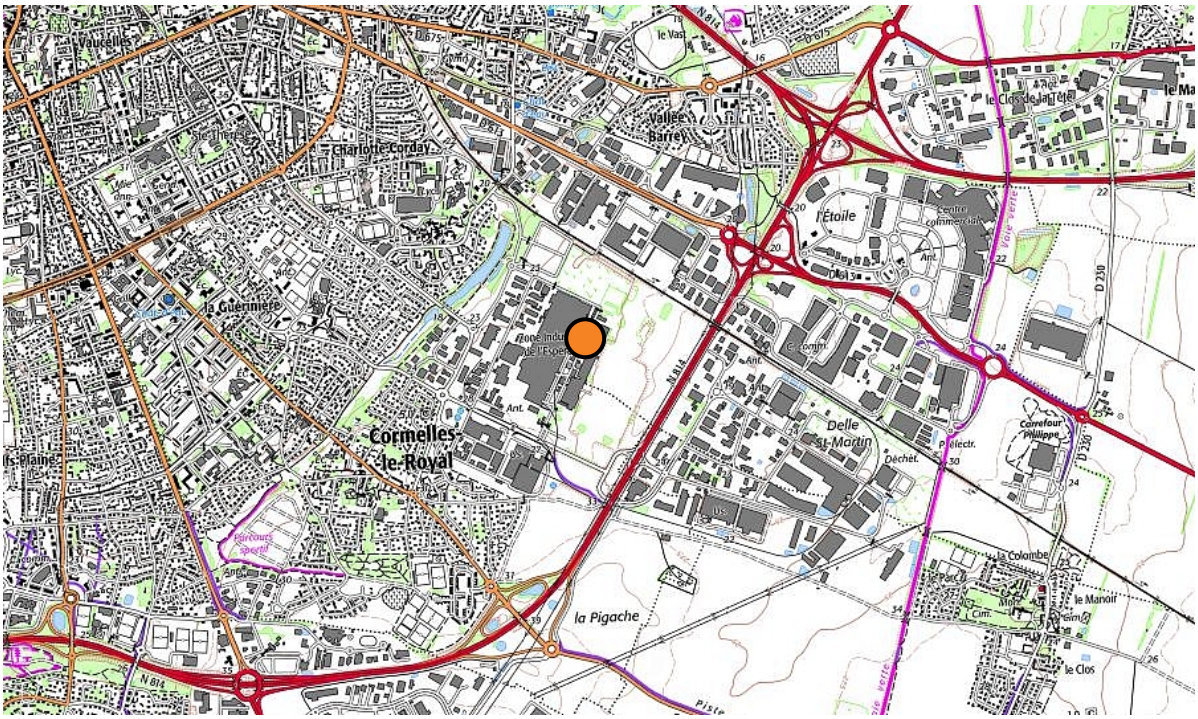
Département : Calvados (14)
Commune : Mondeville
Localisation : Usine Stellantis
site Peugeot

Référence cadastrale : section CD - parcelle 82

2.2 - Coordonnées

Système de référence : Lambert 93 (en mètres)

X = 458 099	Y = 6900 729	Z = 25.90 m (précision ENG)



Carte IGN : 1612OT - Caen

0 500 m

3 - PRESENTATION DE L'OUVRAGE





3.1 - Identification

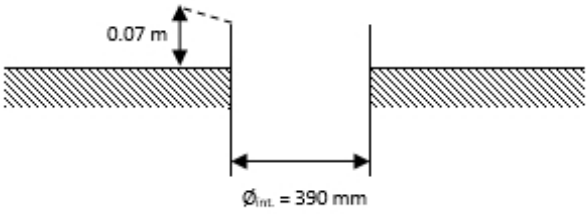
Indice BRGM :	BSS000JBGW (ancien code : 01205X0007/F1)
Dénomination :	forage F1
Date de création :	1953
Profondeur théorique :	64.25 mètres
Utilisation :	industrielle

3.2 - Photographie du site



3.3 - Origine des mesures

Repère :	sommet du tube en acier - diamètre interne 390 mm
Position :	+ 0.07 m/sol





3.4 - Données hydrogéologiques

Aquifère capté :	calcaires et calcaires argileux du Bathonien moyen
Niveau statique :	- 21.60 m/repère (07/07/2023 à 11h15)

4 - COUPES TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE





4.1 - Coupe technique

4.1.1 D'après les documents existants

La coupe décrite ci-dessous a été établie d'après les documents existants. Le repère se situe au niveau du sol.

- La foration

  - de 0.00 à 11.80 m : diamètre 600 mm
  - de 11.80 à 64.25 m : diamètre 450 mm

- Les équipements

  - de 0.00 à 11.80 m : tube de soutènement en acier, diamètre 520 mm, espace annulaire cimenté
  - de + 0.20 à 16.25 m : tube en acier, diamètre 400 mm, espace annulaire cimenté
  - de 14.15 à 27.25 m : tube en acier, diamètre 325/335 mm
  - de 27.25 à 30.45 m : tube en acier lanterné, diamètre 325/335 mm
  - de 30.45 à 35.20 m : tube en acier, diamètre 325/335 mm
  - de 35.20 à 44.80 m : tube en acier lanterné, diamètre 325/335 mm
  - de 44.80 à 49.50 m : tube en acier, diamètre 325/335 mm
  - de 49.50 à 59.10 m : tube en acier lanterné, diamètre 325/335 mm
  - de 59.10 à 64.25 m : tube en acier, diamètre 325/335 mm

4.1.2 D'après les investigations

La coupe décrite ci-dessous a été établie d'après l'examen endoscopique. Le repère ayant été pris au niveau du sommet du tube en acier, située à +0.07 m/sol.

- de 0.00 à 14.80 m : tube en acier, diamètre 390 mm
- de 14.80 à 27.60 m : tube en acier lanterné, diamètre 325/335 mm
- de 27.60 à 38.50 m : crépines
- à 38.50 m : câble de pompe

4.2 - Coupe géologique

La coupe litho-stratigraphique décrite ci-dessous a été établie d'après les documents existants.

Profondeurs	Lithologie	Stratigraphie
0.00 - 1.00 m	limons	Quaternaire
1.00 - 56.00 m	calcaires et calcaires argileux	Bathonien moyen
56.00 - 64.00 m	argile grise	Bathonien inférieur et moyen

5 - EQUIPEMENTS D'EXPLOITATION





5.1 - Régime d'exploitation

Débit d'exploitation actuel : 83 m^3/h

5.2 - Pompe

Marque : CAPRARI
Type : F9S55/5A
Position : 35.71 mètres (sommet de la pompe)
38.01 mètres (base de la pompe)
Arrêtée le : 05/07/2023
Démontée le : 06/07/2023 à 11h10
Remise en place le : 09/07/2023 à 17h00

5.3 - Colonne d'exhaure

Nature : acier
Diamètre : DN100
Type de connexion : brides
Connexion pompe : bride DN100
Connexion refoulement : bride DN100

Détails des équipements d'exploitation :

N°	Longueur (m)	Profondeur (m/rep)	Observations
1	5.90	0.00 - 5.90	manche de tête
2	6.15	5.90 - 12.05	-
3	6.12	12.05 - 18.17	-
4	4.92	18.17 - 23.09	-
5	6.18	23.09 - 29.27	-
6	6.02	29.27 - 35.29	-
7	0.42	35.29 - 35.71	manchette de pompe
8	2.30	35.71 - 38.01	pompe

6 - JOURNAL DES TRAVAUX





Dates	Heures	Opérations
06/07/2023	08h00	Arrivée sur site, accueil sécurité
	09h30	Mise en place du matériel
	10h30	Retrait des équipements d'exploitation (colonne d'exhaure et pompe)
	11h35	Examen endoscopique en régime statique
	13h00	Mise en place de la pompe de test 6" à 36 mètres (sommet de la pompe)
	14h17	Début du pompage au débit moyen de 20.6 m^3/h (1^{er} palier)
	15h18	Augmentation du débit moyen à 40.3 m^3/h ($2^{ème}$ palier)
	16h19	Augmentation du débit moyen à 59.1 m^3/h ($3^{ème}$ palier)
	17h21	Arrêt du pompage
	17h45	Remontée de la pompe de test
	18h15	Repli du matériel
	18h30	Départ du site
07/07/2023	07h45	Arrivée sur site et mise en place du matériel
	08h00	Préparation et mise en place du refoulement pour le pompage de longue durée
	-	Mise en place des capteurs de niveaux autonomes sur les piézomètres Pz21, Pz24, Pz25, Pz22, Pz20
	15h10	Début du pompage par palier puis de longue durée au débit moyen de 19.0 m^3/h (1^{er} palier) pour la phase de réinjection au sein du forage F1, à partir de la pompe d'exploitation du forage F2
	16h11	Augmentation du débit moyen à 38.6 m^3/h ($2^{ème}$ palier)
	17h12	Augmentation du débit moyen à 50.5 m^3/h ($3^{ème}$ palier)
	18h00	Mesures piézométriques manuelles sur les piézomètres
	21h15	Arrêt du pompage - incident sur le refoulement (passage d'un camion…)
	21h45	Reprise du pompage au débit moyen de 41.4 m^3/h
	22h00	Départ du site - Pompage en cours
08/07/2023	08h00	Arrivée sur site - Pompage en cours
	08h50	Mesures piézométriques manuelles sur les piézomètres et les ouvrages F1 et F2
	17h13	Mesures piézométriques manuelles sur les piézomètres et les ouvrages F1 et F2
	19h00	Départ du site - Pompage en cours
09/07/2023	07h45	Arrivée sur le site - Pompage en cours
	08h30	Mesures piézométriques manuelles sur les piézomètres et les ouvrages F1 et F2
	14h15	Mesures piézométriques manuelles sur les piézomètres et les ouvrages F1 et F2
	15h30	Arrêt du pompage
	15h40	Reconnexion du refoulement du forage F2 et repli de la ligne de réinjection
	17h00	Remise en place des équipements d'exploitation sur le forage F1 : ▪ pompe ▪ colonne d'exhaure en acier à raccords à brides
	17h10	Mesures piézométriques manuelles sur les piézomètres
	18h00	Repli du matériel
	19h00	Départ du site

7 - EXAMEN ENDOSCOPIQUE





7.1 - Chambre de pompage

- de 0.00 à 12.00 m : au droit de la zone émergée, le tube en acier de diamètre interne 390 mm présente un état visuel marqué par le vieillissement. En effet, une croûte de corrosion généralisée est visible sur l'ensemble des parois. Des dépôts blanchâtres sont observés à la profondeur de 5.40 mètres.
A noter que ces tubages sont assemblés par le biais de raccords soudés bord à bord. Malgré ces phénomènes d'oxydation et de corrosion, l'aspect mécanique de cette partie des équipements reste globalement satisfaisant.

- de 12.00 à 14.80 m : l'aspect visuel de la surface du tubage est hétérogène et semble rugueux en raison de la corrosion.

7.2 - Colonne captante

- à 14.80 m : une réduction de diamètre est observée et correspond au sommet du tube porte-crépine, équipé d'un raccord à baïonnette.

- de 14.80 à 21.60 m : le tubage en acier - de diamètre 325/335 mm - présente également une croûte de corrosion qui est visible au droit de la zone émergée. A la profondeur de 18.10 mètres, un trou qui est usiné dans le tube avait dû être réalisé pour permettre sa mise en place. A l'extrados du tubage, l'espace annulaire est constaté visuellement vide.

- de 21.60 à 27.70 m : en dessous de la position du niveau piézométrique, les équipements en acier sont recouverts d'une fine croûte de dépôts sur laquelle des concrétions sont présentes. Les trous de manutention usinés dans les tubes, juste en dessous des raccords, sont toujours présents.

- de 27.70 à 30.90 m : les crépines en acier, à fentes verticales - de diamètre 325/335 mm - présentent un état de colmatage très partiel par des dépôts concrétionnés et visuellement indurés, présents sur l'ensemble de la section. L'espace annulaire a de nouveau été constaté vide à l'extrados des crépines.

- de 30.90 à 35.60 m : des concrétions plus développées réduisent en partie la section interne du tubage. A la profondeur de 33.20 mètres, une crépine d'aspiration de pompe repose contre les parois du tube plein.

- de 35.60 à 38.80 m : les crépines en acier, à fentes verticales, sont recouvertes d'une croûte de dépôts indurés. Les ouvertures sont dégagées mais présentent ponctuellement des ouvertures partiellement colmatées.

- à 38.80 m : un câble de pompe est également accidenté à la base de l'ouvrage, au niveau duquel sont également présents des dépôts divers ainsi que des colliers de serrage en nylon.

8 - TEST DE POMPAGE





8.1 - Pompage par paliers - Forage F1

Un essai de puits, constitué de 3 paliers enchaînés de 1 heure chacun, a été réalisé aux débits respectifs moyens de 20.6, 40.3 et 59.1 m^3/h, le 06 juillet 2023.

Ce pompage a permis de calculer la productivité du forage et de déterminer sa courbe caractéristique.
Le niveau statique de référence retenu pour calculer les rabattements correspond au niveau piézométrique mesuré au début du test de pompage, à savoir -21.60 m/repère (pris à +0.07 m/sol).

Le pompage (à 1 heure) donne les résultats suivants :

Débits (m^3/h)	Niveaux dynamiques (m/repère)	Rabattements Δ (m)	Δ spécifiques ($m/m^3/h$)	Débits spécifiques ($m^3/h/m$)	Parts estimées CQ^2* (%)
20.6	- 21.98	0.38	0.02	54.21	32.5
40.3	- 22.58	0.98	0.03	41.12	48.5
59.1	- 23.36	1.76	0.03	33.58	58.0

** CQ^2 = pertes de charge quadratiques (liées aux équipements)*

De ces données, il ressort une équation de la courbe caractéristique de la forme : $\Delta = BQ + CQ^2$

avec Δ (m) = rabattement
Q (m^3/h) = débit
BQ (B en h/m^2) = pertes de charge linéaires (liées à la formation)
CQ^2 (C en h^2/m^5) = pertes de charge quadratiques (liées aux équipements)

On obtient ainsi : Δ (à 1 heure) = $0.0125 \times Q + 2.92604.10^{-4} \times Q^2$

Dans la gamme des débits pompés, les pertes de charge quadratiques dans l'ouvrage sont largement majoritaires au regard des pertes de charge linéaires. Il est important de noter que l'absence de massif de gravier au droit des équipement de la colonne captante donne accès notamment à une porosité vraisemblablement de fissures, de fractures et peut être même de karts, où les eaux s'écoulent librement sans contrainte lithologique.
Il en ressort une très grande perméabilité (transmissivité) notamment exprimée par le premier terme de l'équation du rabattement (1/B), et de ce fait un contraste des pertes de charge qui se traduit par une très forte prépondérance des pertes de charge quadratiques au regard des pertes de charge linéaires.

Ainsi, au débit pompé de 59.1 m^3/h, les pertes de charge quadratiques représentent 1.02 mètre de rabattement, soit 58% des pertes de charge totales.

Toujours du fait de la grande transmissivité de la zone de production principale, la productivité de l'ouvrage est élevée, avec un débit spécifique (à 1 heure) égal à 33.58 m^3/h par mètre de rabattement au débit de 59.1 m^3/h.

8.2 - Pompage par paliers - Forage F2

Le forage F2 qui est localisé sur la commune de Cormelles-le-Royal, à 250 mètres au SSW du forage F1 a également fait l'objet d'un test de productivité, qui a été réalisé à partir de sa propre pompe d'exploitation.

Ainsi, un essai de puits, constitué de 3 paliers enchaînés de 1 heure chacun, aux débits respectifs moyens de 19.0, 38.6 et 50.5 m^3/h, a été effectué sur cet ouvrage dans la journée du 07 juillet 2023.

Cette opération de pompage a permis de calculer la productivité du forage et de déterminer sa courbe caractéristique.
Le niveau statique de référence retenu pour calculer les rabattements correspond au niveau piézométrique mesuré au début du test de pompage, à savoir -20.82 m/sol.

Le pompage (à 1 heure) donne les résultats suivants :

Débits (m^3/h)	Niveaux dynamiques (m/repère)	Rabattements Δ (m)	Δ spécifiques ($m/m^3/h$)	Débits spécifiques ($m^3/h/m$)	Parts estimées CQ^2* (%)
19.0	- 21.15	0.33	0.02	57.58	30.1
38.6	- 21.60	0.78	0.02	49.49	46.6
50.5	- 22.04	1.22	0.02	41.39	53.3

CQ^2 = pertes de charge quadratiques (liées aux équipements)

De ces données, il ressort une équation de la courbe caractéristique de la forme : $\Delta = BQ + CQ^2$

avec Δ (m) = rabattement
Q (m^3/h) = débit
BQ (B en h/m^2) = pertes de charge linéaires (liées à la formation)
CQ^2 (C en h^2/m^5) = pertes de charge quadratiques (liées aux équipements)

On obtient ainsi : Δ (à 1 heure) = $0.01108 \times Q + 2.50857.10^{-4} \times Q^2$

De même que pour le forage voisin référencé F1 qui exploite le même réservoir dans des profondeurs similaires, à partir d'un ouvrage de conception globalement sommaire, les pertes de charge quadratiques dans l'ouvrage sont largement majoritaires au regard des pertes de charge linéaires, dans cette gamme de débits pompés.

Dans ce cas également, nous rappelons que l'absence de massif de gravier à l'extrados des éléments de la colonne captante réduit les pertes de charge quadratiques et conduit directement la porosité vraisemblablement de fissures, de fractures et peut être même de karts, où des eaux s'écoulent librement sans contrainte lithologique.
Ainsi, il en ressort de nouveau une très grande perméabilité (transmissivité) (exprimée par le premier terme de l'équation du rabattement (1/B)), et de ce fait, un contraste des pertes de charge qui se traduit par une très forte prépondérance des pertes de charge quadratiques au regard des pertes de charge linéaires.

Au débit pompé de 50.5 m^3/h, les pertes de charge quadratiques représentent 0.64 mètre de rabattement, soit 53.3% des pertes de charge totales.

Toujours du fait de la grande transmissivité de la zone de production principale, la productivité de l'ouvrage est élevée, avec un débit spécifique (à 1 heure) égal à 41.39 m^3/h par mètre de rabattement au débit de 50.5 m^3/h.

8.3 - Test d'injection sur le forage F1

En complément de l'essai de puits **en production** effectué sur le forage F1, un essai de puits **en injection** a également été effectué, à partir des eaux pompées extraites de l'essai de puits du forage F2.
Pour rappel, les débits de l'essai de puits réalisé sur le forage F2 ayant permis d'effectuer les tests d'injection sur le forage F1 sont constitués de 3 paliers enchaînés de 1 heure chacun, aux débits respectifs moyens de 19.0, 38.6 et 50.5 m^3/h, le 07 juillet 2023.

Le débit pompé a été injecté sur le forage F1 afin d'observer la mise en charge sur cet ouvrage et de déterminer une courbe caractéristique.

Le niveau statique de référence retenu pour calculer la mise en charge correspond au niveau piézométrique mesuré au début du test de pompage, à savoir -21.60 m/sol.

Le pompage (à 1 heure) donne les résultats suivants :

Débits F2 (m^3/h)	Niveaux dynamiques F1 (m/repère)	Mise en charge Δ (m)	Débits spécifiques en injection ($m^3/h/m$)
19.0	- 21.35	0.25	76.00
38.6	- 20.84	0.76	50.79
50.5	- 20.35	1.25	40.40

De ces données, il ressort une équation de la courbe caractéristique d'injection de la forme : $\Delta = BQ + CQ^2$

avec Δ (m) = rabattement
Q (m^3/h) = débit
BQ (B en h/m^2) = pertes de charge linéaires (liées à la formation)
CQ^2 (C en h^2/m^5) = pertes de charge quadratiques (liées aux équipements)

On obtient ainsi : Δ (à 1 heure) = $0.00509 \times Q + 3.85482.10^{-4} \times Q^2$

Au débit injecté de 50.5 m^3/h, la mise en charge de l'ouvrage a engendré une remontée du niveau piézométrique de 1.25 mètre par rapport au niveau statique initial.

Toujours du fait de la grande transmissivité de l'aquifère capté, le débit spécifique d'injection est élevé avec une valeur de 40.40 $m^3/h/m$ lors de l'injection de 50.5 m^3/h.

8.4 - Pompage de longue durée

L'opération de pompage de longue durée a permis de simuler le fonctionnement d'un doublet géothermique, à partir d'une production assurée par le forage référencé F2 et une réinjection effectuée au sein du forage F1.

Un suivi piézométrique a parallèlement été mis en place au droit d'un certain nombre d'ouvrages voisins existants dans le cadre du réseau de surveillance et du contrôle qualitatif de la nappe souterraine située au droit de ce site industriel.

Dans le détail, il s'agit des piézomètres référencés Pz20, Pz21, Pz22, Pz24 et Pz25.

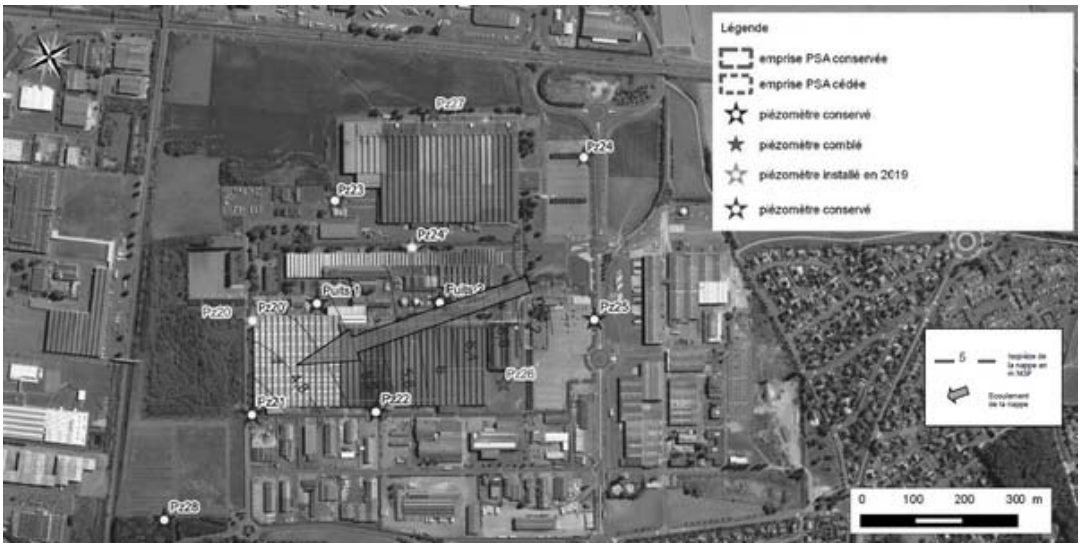
8.4.1 Comportement piézométrique du forage F2

Un pompage continu d'une durée totale de 45h18 a été réalisé du 07 au 09 juillet 2023, au débit moyen de 41.4 m^3/h, à des fins d'analyses qualitatives.
Le niveau dynamique dans le forage a été enregistré à 21.83 mètres sous le repère, soit un rabattement de 1.01 mètre obtenu après plus de 45 heures de pompage.

8.4.2 Comportement piézométrique du forage F1

Le forage F1 a permis de réinjecter les 41.4 m^3/h produit par le forage F2. Les données enregistrées ont permis d'observer un comportement du niveau piézométrique réhaussé de 1.06 mètre entre la phase statique et la phase d'injection au débit moyen de 41.4 m^3/h.

8.4.3 Influence de la simulation de fonctionnement du doublet sur les piézomètres



DEKRA - Suivi de la qualité des eaux souterraines - Campagne d'octobre 2021

Le piézomètre Pz25 situé en amont de l'écoulement piézométrique de la nappe par rapport au forage F2 pompé, présente une tendance piézométrique où le niveau décroît de manière globalement linéaire sur toute la durée du pompage de longue durée.

Le piézomètre Pz24 situé en position intermédiaire entre les forages F1 et F2, présente un niveau piézométrique stable au cours des opérations de pompage.

Le piézomètre Pz22 est situé au droit de la même cote piézométrique que le forage F1, selon la carte présentée ci-dessus.
Ainsi, le niveau de ce piézomètre qui était relativement stable au début du pompage de longue durée, amorce un faible rabattement continu jusqu'au 09 juillet 2023 à 09h00. A ce stade, alors que le pompage était en cours de manière ininterrompue, il a singulièrement été constaté une remontée du niveau piézométrique dans cet ouvrage, malheureusement sans justificatifs, avec des facteurs de perturbation environnante qui ne pouvaient pas être maîtrisés.

Les piézomètres Pz20 et Pz21 situés en aval piézométrique du forage F1, qui ne sont pas orientés selon le même axe d'écoulement, présentent une réponse différente lors de la simulation de ce doublet avec les ouvrages F1 et F2.

En effet, le comportement du piézomètre Pz21 se caractérise par une très légère diminution de la position de son niveau piézométrique malgré sa situation basse au regard des isopièzes. De même que le piézomètre Pz22, l'augmentation singulière du niveau piézométrique observée le 09 juillet 2023 vers 09h00 doit être mise en relation avec un facteur de perturbation externe non maitrisé.

Le piézomètre référencé Pz20 qui est l'ouvrage le plus proche du forage F1 injecté, situé juste en aval piézométrique, voit son niveau piézométrique directement influencé et dans les mêmes proportions que le niveau du forage F1 en cours d'injection.
Au cours du pompage de longue durée, le niveau piézométrique du piézomètre Pz20 croît progressivement avant de retrouver son niveau statique initial lors de l'arrêt de l'injection dans le forage F1.

9 - BILAN





9.1 - Etat structurel

Les équipements de la chambre de pompage matérialisés par des tubes en acier de diamètre 400 mm, présentent un état visuel et mécanique satisfaisant malgré la présence d'une croûte de corrosion généralisée notamment visible au droit de la zone émergée. A noter également la présence d'une fine croûte de dépôts en dessous de la position du niveau piézométrique où des concrétions sont également observées.

Les équipements de la colonne captante représentés par des tubes et des crépines en acier de diamètre 325/335 mm sont dans un état visuel et mécanique globalement satisfaisant pour cet ouvrage de conception globalement sommaire à partir de matériaux présentant une certaine vulnérabilité et datant de 1953.
Dans le détail, les ouvertures des crépines sont parfois marquées par un colmatage partiel de dépôts indurés.

La base de l'inspection vidéo a été atteinte à la profondeur de 38.80 mètres au droit d'une zone occupée par des corps étrangers de nature diverse dont un câble de pompe et des colliers de serrage en nylon.
La présence de ces corps étrangers n'a pas permis de poursuivre les investigations en dessous de cette cote.

9.2 - Productivité

Le niveau piézométrique du forage F1 mesuré le 06 juillet 2023 se situait à la profondeur de 21.60 mètres sous le repère.

Le niveau piézométrique du forage F2 mesuré le 07 juillet 2023 se situait à 20.82 mètres sous le repère.

Dans les conditions hydrauliques de pompage du forage F1, réalisé le 06 juillet 2023, la productivité a été constatée très satisfaisante, avec un débit spécifique (à 1 heure) égal à 33.58 m^3/h par mètre de rabattement au débit de 59.1 m^3/h.

De même, celle relative au forage F2, le 07 juillet 2023, est très satisfaisante, avec un débit spécifique (à 1 heure) égal à 41.39 m^3/h par mètre de rabattement au débit de 50.5 m^3/h.

La simulation de fonctionnement de ces ouvrages en mode "doublet" a permis d'observer que la productivité du forage F1 en injection était supérieure à celle mesurée en dépression au débit pompé et injecté de 40.3 m^3/h.
En effet, le débit spécifique du forage en production est égal à 41.12 m^3/h/m contre 48.55 m^3/h/m dans la configuration injection.

Compte tenu des importantes transmissivité et perméabilité de l'aquifère capté par les ouvrages référencés F1 et F2, il semblerait toutefois que ces ouvrages ne soient probablement pas suffisamment distants (à peine 250 mètres) au sein de cet environnement très transmissif, pour optimiser le rendement d'un dispositif de géothermie sous la forme d'un doublet.
En effet, le perfectionnement d'un tel dispositif est assujetti à une relative indépendance, tant en matière de piézométrie mais également en termes de préservation des calories au sein même du réservoir, avec le risque dans ce cas, d'une migration de la bulle thermique aval (injectée depuis F1) vers l'amont piézométrique (forage de production F2).

10 - PRECONISATIONS





Cet ouvrage référencé F1 réalisé en 1953 est de bonne facture, malgré son état de vieillissement marqué, en lien notamment avec la nature des matériaux employés mais également avec sa conception globalement sommaire (sans isolation par cimentation à l'extrados des tubes pleins de la chambre de pompage), néanmoins en phase avec la législation en vigueur de cette époque.

Ce forage présente par ailleurs une très forte productivité, en lien avec sa conception technique (absence de massif filtrant à l'extrados des crépines) mais également avec les caractéristiques hydrauliques des terrains forés.

Il n'a néanmoins pas été possible d'investiguer visuellement l'ouvrage en dessous de la profondeur de 38.80 mètres ; des corps étrangers et notamment un câble de pompe étant présents dans l'ouvrage, pouvant mettre en péril l'intégrité du matériel de contrôle.

De plus, la tête de puits n'est pas conforme à la réglementation en vigueur qui selon "l'article 8, modifié par arrêté 2006-08-07 art. 1 JORF 24 septembre 2006 en vigueur le 1er octobre 2006, de l'arrêté du 11 septembre 2003 portant application du décret n°96-102 du 02 février 1996 et fixant les prescriptions générales applicables aux sondage, forage, création de puits ou d'ouvrage souterrain soumis à déclaration en application des articles L.214-1 à L.214-3 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 1.1.1.0 de la nomenclature annexée au décret n°93-743 du 29 mars 1993 modifié" stipule que la tête du forage située à l'extérieur ou dans une chambre de comptage **s'élève au moins à 0.50 mètre au-dessus du terrain naturel ou du fond de la chambre de comptage dans lequel elle débouche, contre 0.07 mètre dans le cas de cet ouvrage.**

Dans le cadre de ce projet de géothermie, il est nécessaire de prendre en considération l'implication et le regard des services de l'état vis à vis notamment :

- de l'état global de l'ouvrage, qu'ils confronteront aux normes actuellement en vigueur,
- des obligations de contrôles périodiques et décennaux en particulier de l'ensemble des ouvrages du site industriel.

S'agissant des corps étrangers dont la présence a été constatée à la base de l'ouvrage, le coût des opérations de récupération (tentative) pourrait s'avérer disproportionné au regard de l'état et de l'usage de cet ouvrage, et en particulier, en comparaison au coût de réalisation d'un ouvrage neuf de substitution réalisé dans les règles de l'art.

Enfin, concernant les équipements d'exploitation, il conviendrait d'envisager le remplacement de la colonne d'exhaure actuelle par une colonne en acier inoxydable, présentant une résistance élevée à la corrosion, et qui serait équipée de raccords rapides de type joncs/joints facilitant les opérations de manutention de la pompe.

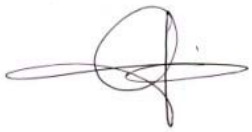
A noter également que l'existence de ces ouvrages (forages et piézomètres) implantés dans ce même contexte, permettrait d'envisager une modélisation 2D, présentant les variations piézométriques dans le temps en fonction des sollicitations mises en hypothèses en vue notamment de mieux appréhender les modes d'écoulements souterrains au sein de ce réservoir aquifère.

Fait à Talence, le 25 septembre 2023

Rédacteur : **Thomas JAWORSKI**
Ingénieur HYDROGEOLOGUE



Vérificateur : **Alain CHAPITEAU**
Ingénieur HYDROGEOLOGUE
Responsable Agence Gironde



Approbateur : **Sébastien DANGOUMAU**
Gérant



ANNEXES

Annexe 1
PRESENTATION DU SITE





Hydro Assistance Ingenierie

Présentation du site



Commune : Mondeville (14)

Forage : F1

Adresse : usine Stellantis - site Peugeot

Réf. cadastrale : section CD - parcelle 82

Vue aérienne



Extrait cadastral



Annexe 2
COUPE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE



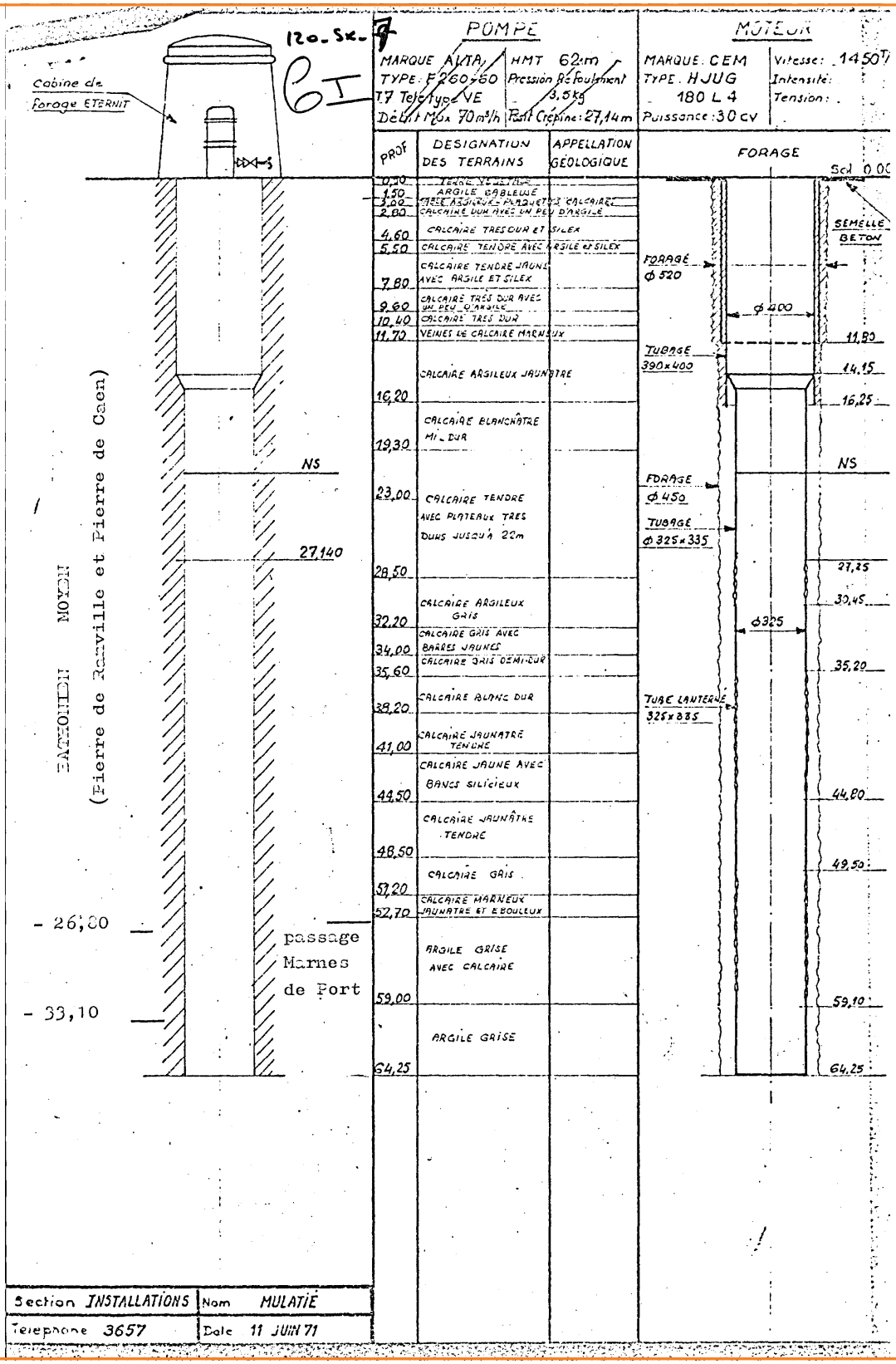


HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Coupe technique de l'ouvrage



Commune : Mondeville (14) **Forage :** F1



Annexe 3
EQUIPEMENTS D'EXPLOITATION





HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Equipements d'exploitation



Commune : Mondeville (14)

Forage : F1

Date d'intervention : 06/07/2023

Pompe d'exploitation

Référence	Diamètre	Débit d'exploitation	Position
CAPRARI F9S55/5A	*non précisé*	83 m^3/h	38.01 mètres (base de la pompe)





Colonne d'exhaure

Nature des équipements	Type de connexion	Diamètre
acier	brides	DN100

Connexion pompe	Connexion refoulement
bride DN100	bride DN100





Annexe 4
TEST DE POMPAGE





Suivi du pompage par paliers du forage F1

HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Suivi du test de pompage par paliers du 06 juillet 2023

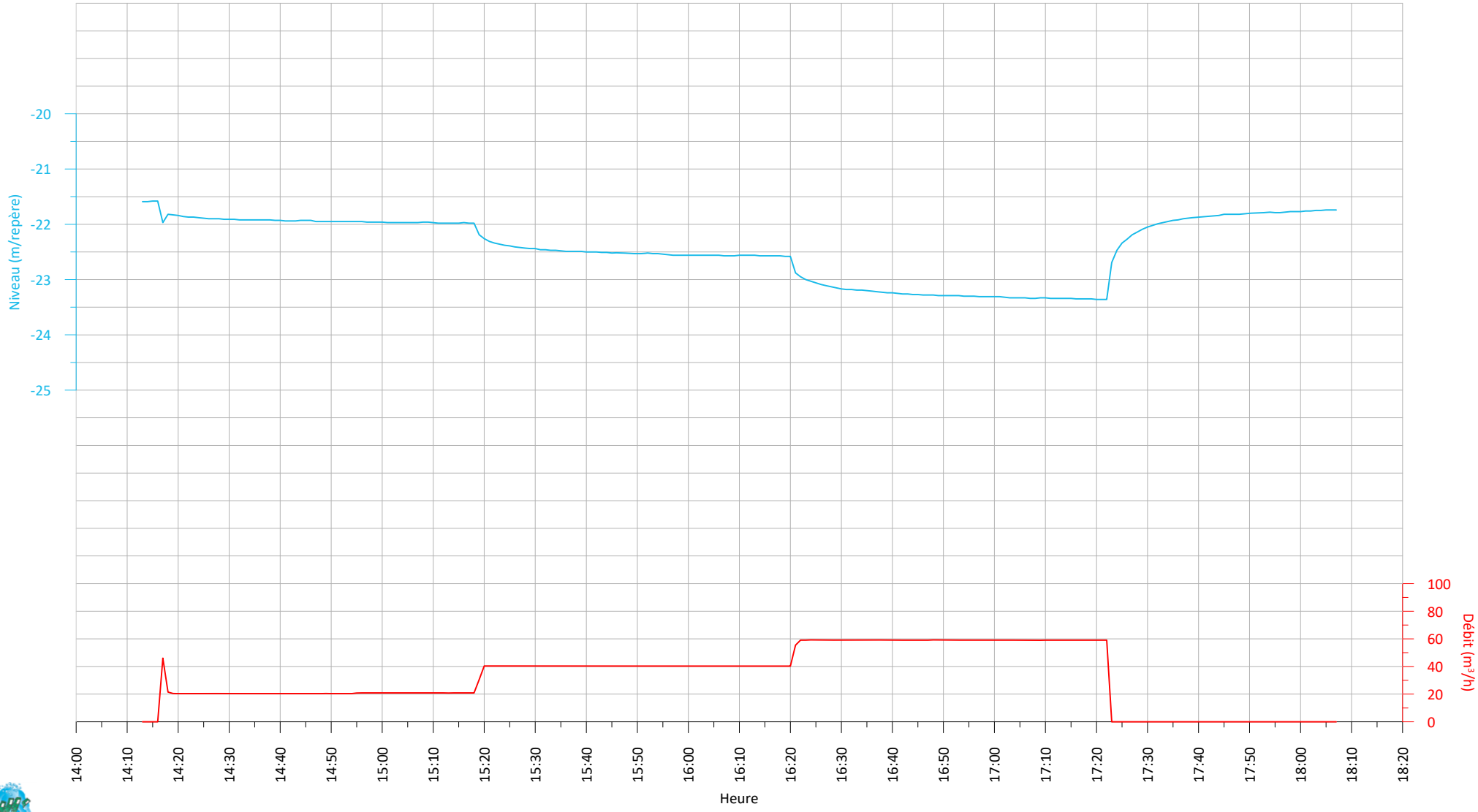


Commune : Mondeville (14)

Repère des mesures = sol

Forage : F1

Niveau statique = -21.59 m/sol



Courbe caractéristique du forage F1

HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Courbe caractéristique d'ouvrage (à 1 heure) / Paliers enchaînés



Commune : Mondeville (14)

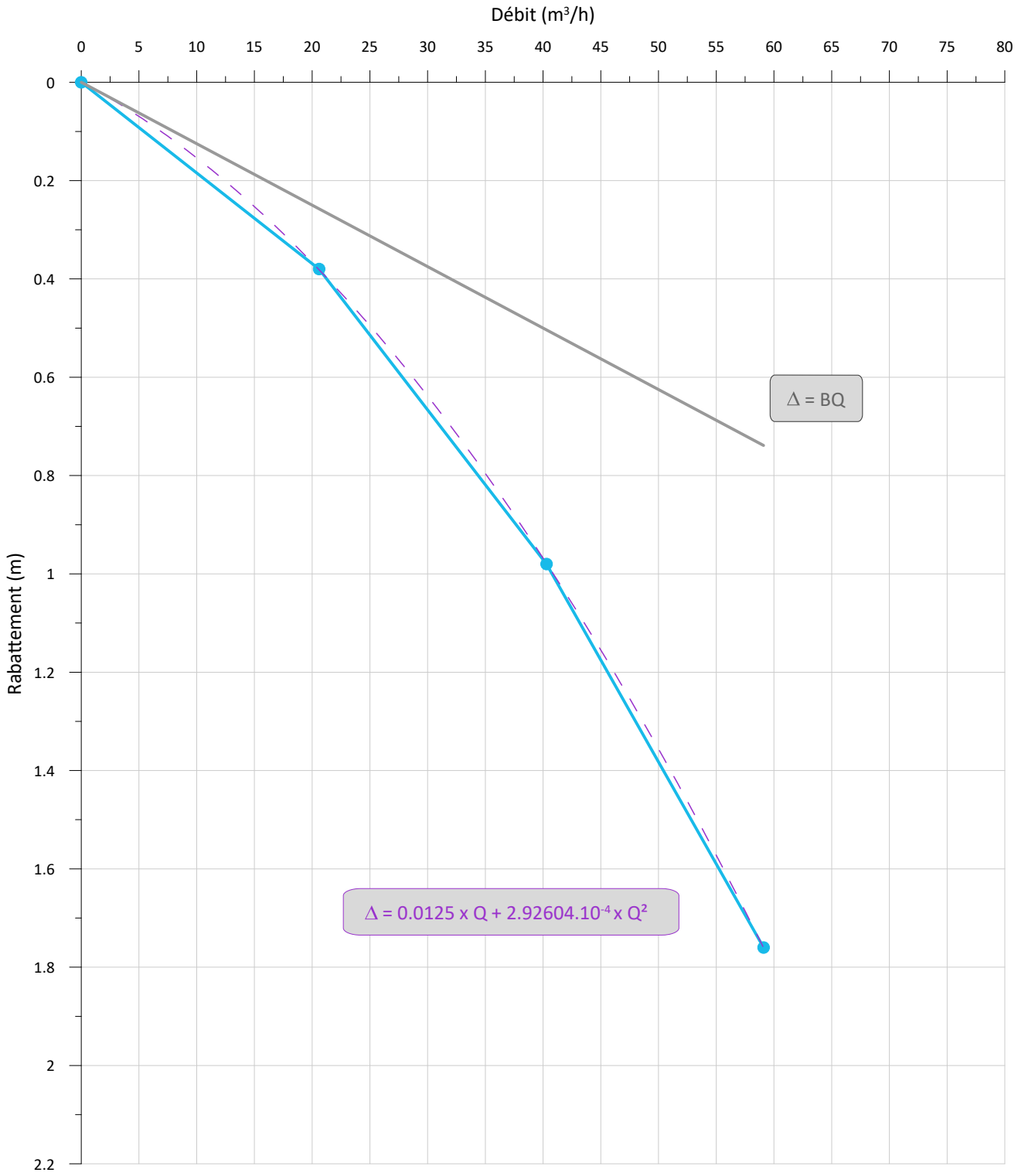
Forage : F1

Débit d'exploitation : 83 m³/h

Repère = sommet du tube en acier diamètre 400 mm : +0.07 m/sol

Pompage du : 06/07/2023

Niveau piézométrique : -21.60 m/repère



Suivi du pompage par paliers et de longue durée du forage F2

HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Suivi du pompage par paliers et du pompage de longue durée du forage F2 et suivi des piézomètres du 07 au 09 juillet 2023

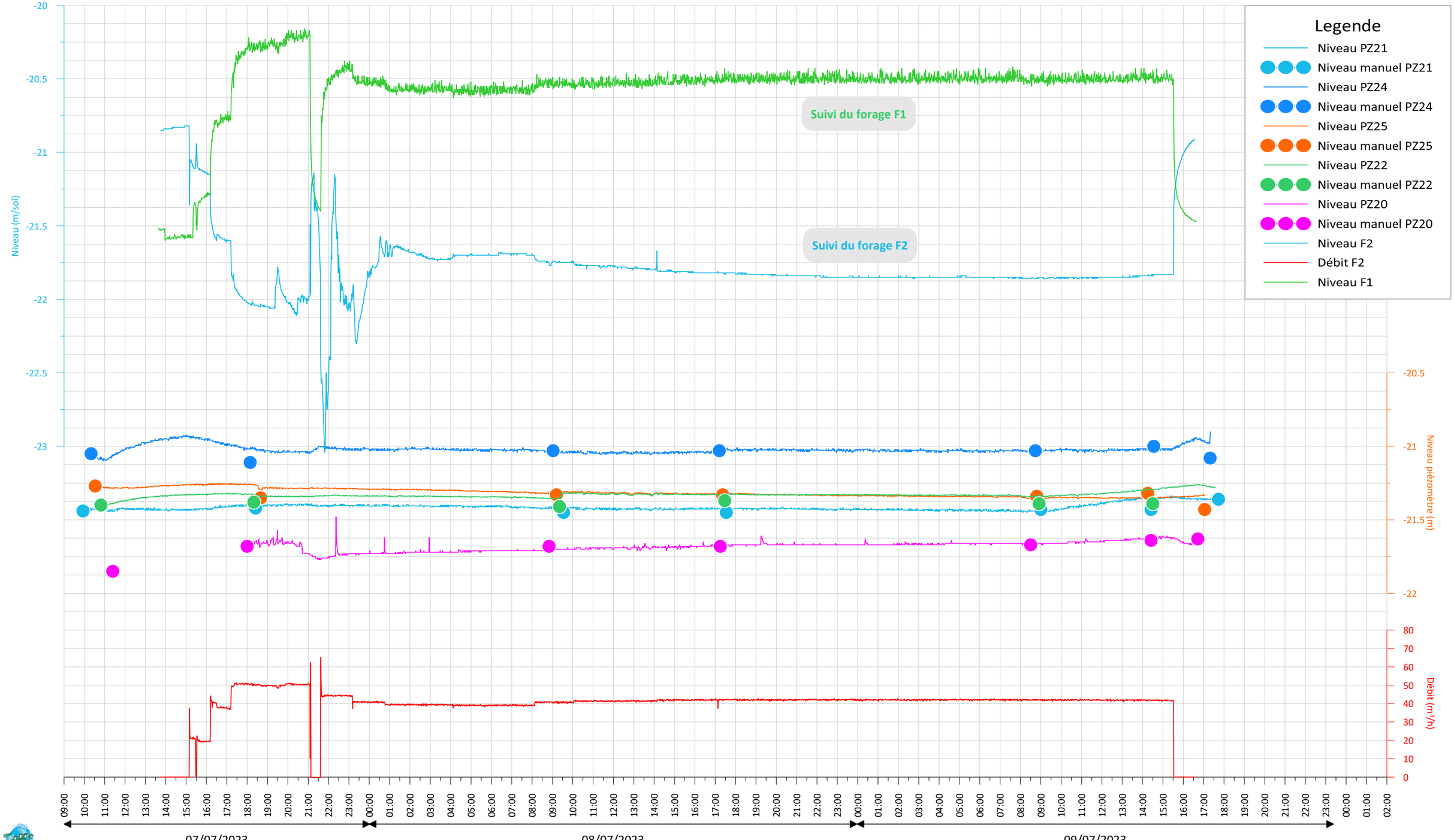


Commune : Cormelles-le-Royal (14)

Forage : F2

Repère des mesures = sol

Niveau statique = -20.85 m/sol



Courbe caractéristique du forage F2

HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Courbe caractéristique d'ouvrage (à 1 heure) / Paliers enchaînés



Commune : Cormelles-le-Royal (14)

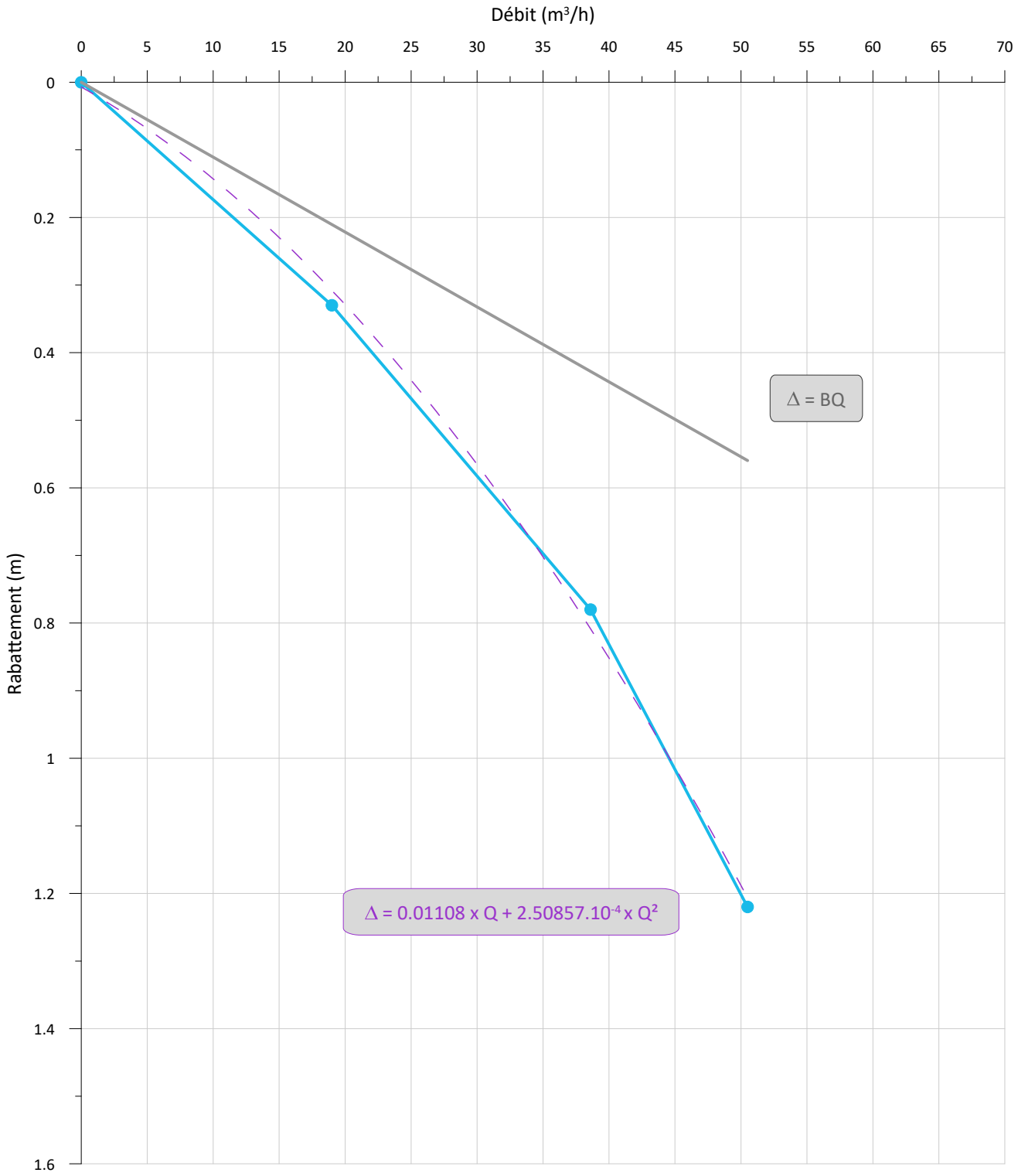
Forage : F2

Débit d'exploitation : 95 m³/h

Repère = sol

Pompage du : 07/07/2023

Niveau piézométrique : -20.82 m/repère



Suivi d'injection du forage F1

HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Suivi du test d'injection par paliers du 07 juillet 2023

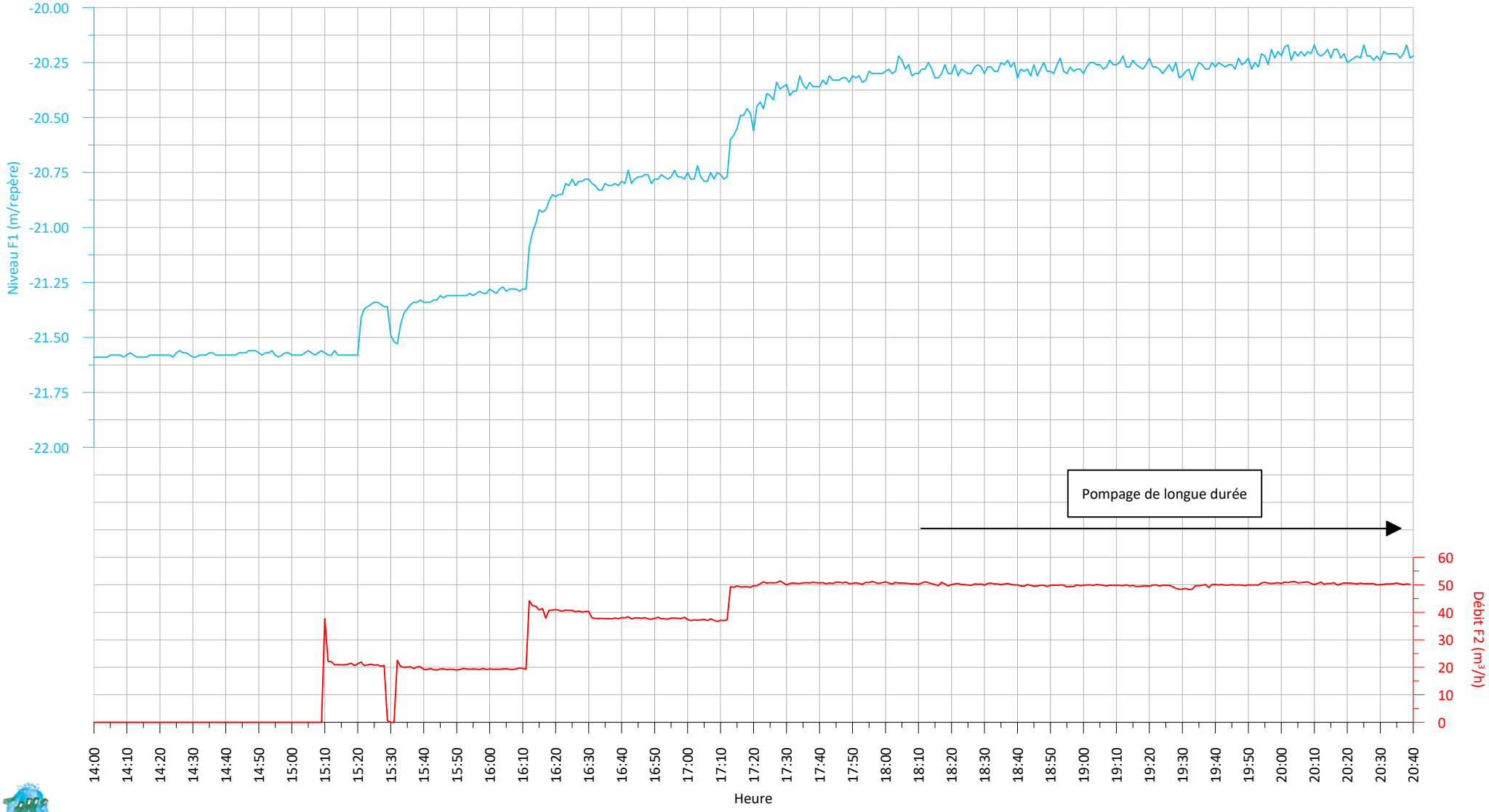


Commune : Mondeville (14)

Repère des mesures = sommet du tube en acier - diamètre 400 mm

Forage : F1

Niveau statique = -21.59 m/sol



Courbe caractéristique d'injection du forage F1

HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Courbe caractéristique d'ouvrage (à 1 heure) / Injection par paliers enchaînés



Commune : Mondeville (14)

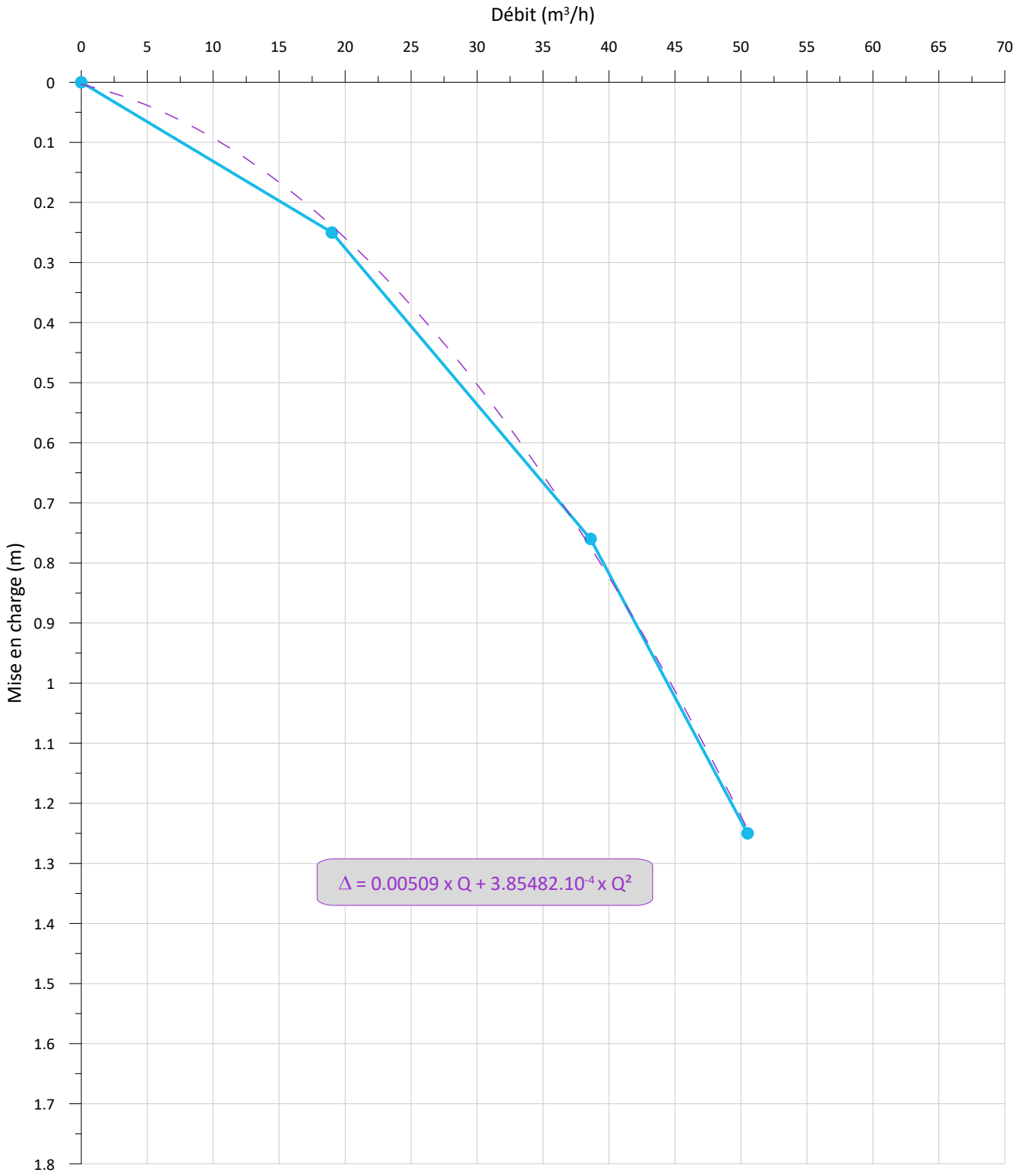
Forage : F1

Débit d'exploitation : 83 m³/h

Repère = sommet du tube en acier diamètre 400 mm : +0.07 m/sol

Pompage du : 07/07/2023

Niveau piézométrique : -21.60 m/repère



Annexe 5
EXAMEN ENDOSCOPIQUE





HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Examen endoscopique



Commune : Mondeville (14)

Forage : F1

Date d'intervention : 06/07/2023

Chambre de pompage - en acier - diamètre 400 mm



Présence d'une fine croûte de corrosion



Détail d'un raccord soudé entre tubes



Présence de dépôts blanchâtres



Croûte de corrosion généralisée



Détail d'un raccord soudé entre tubes



Sommet du tube porte-crépine

HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Examen endoscopique



Commune : Mondeville (14)

Forage : F1

Date d'intervention : 06/07/2023

Colonne captante - en acier - diamètre 325/335 mm



Dispositif de largage à baïonnette



Trou usiné vraisemblablement
pour des besoins de manutention



Présence d'une croûte
de dépôts concrétionnés



Crépines à fentes verticales
Présence de dépôts concrétionnés



Présence d'une grille de protection
de crépine d'aspiration de pompe



Présence de câble de pompe
et de colliers de serrage en nylon