Rapport d'assistance à maîtrise d'ouvrage : Interprétation des essais de pompages et diagraphies



Usine STELLANTIS		
Référence		3013A-RA02
V0	Date	21/10/2024
	Rédaction	Théo Darras
	Relecture	Frédéric Pascaud
V1	Date	28/10/2024
	Rédaction	Théo Darras
	Relecture	Frédéric Pascaud

GEOTHERMAQ SAS ■ Technopole Hélioparc Pau-Pyrénées ■ 2, avenue du Président Pierre Angot ■ 64000 Pau
07 87 33 73 00 ■ j.porfirio@geothermaq.com ■ SIRET 89899114600017 RCS Pau ■ TVA FR 00898991146

Table des matières

I. Résumé des résultats 3
II. Diagraphies sur F1 et F3 4
A. Principe 4
B. Résultat sur F1 5
C. Résultats sur F3 6
D. Interprétation 7
III. Pompage par paliers : Essai de puits 8
A. Principe 8
B. Interprétation de l'essai sur F1 9
C. Interprétation de l'essai sur F3 10
IV. Pompage longue durée : Essai de nappe 11
A. Principe 11
B. Interprétation de l'essai sur F1 12
C. Interprétation de l'essai sur F3 13
V. Pompage par paliers / longue durée : Essai de réinjection 14
A. Principe 14
B. Interprétation de l'essai 14
VI. Estimation de la capacité de production géothermique 15

I. Résumé des résultats

L'ensemble des tests effectués sur site ont permis de démontrer que :

- Les principales venues d'eau dans le sous-sol sont alimentées par des karsts qu'on peut localiser entre 35 et 55m de profondeur, ce sont les horizons qui doivent être crépinés pour maximiser les rendements des puits suivants.

- Les essais de puits ont permis de déterminer un débit d'exploitation maximal de F3 de 105m^3/h. Néanmoins, pour un puits de productivité équivalente avec des crépines positionnées à 35m, ce débit aurait pu être porté à 120m^3/h.

- Les essais longue durée n'ont pas permis de déterminer les propriétés hydrauliques du sous-sol. Néanmoins, ils ont permis de mettre en évidence l'interconnexion des karsts dans le sous-sol du site, et de relever l'absence de limite imperméable à proximité du site.

- L'essai de réinjection dans F1 a permis d'estimer que ce dernier était capable d'accepter facilement 105m^3/h. En l'état actuel de nos connaissances, nous l'estimons capable d'accepter 220m^3/h, soit la production prévisionnelle de deux forages de pompage.

En l'état, nous estimons qu'un système géothermique relevant du régime du permis minier devrait délivrer entre **1,2 et 2MW de puissance thermique soutirée du sous-sol**, soit environ entre **1,8 et 3MW de puissance délivrée par la PAC**, s'il est constitué de **deux ou trois doublets géothermiques**.

II. Diagraphies sur F1 et F3

A. Principe

Pour tester les caractéristiques des venues d'eau dans les puits F1 et F3, des diagraphies ont été effectuées sur site. En particulier, la méthode du micromoulinet a été mise en œuvre.

Ce protocole consiste à positionner une pompe en tête du forage, et à pomper de l'eau à un débit constant dans le forage testé. On descend alors progressivement un appareil constitué d'une hélice, qui va être mise en mouvement par le pompage de l'eau.

Lorsque l'hélice est en haut des crépines, la vitesse de courant enregistrée est maximale, car tout le débit de tout l'aquifère mobilisé passe au travers de l'hélice. Au fur et à mesure que l'hélice descend dans le forage, la fraction de l'aquifère mobilisé dont le débit passe au travers de l'hélice s'amoindrit, la vitesse diminue.

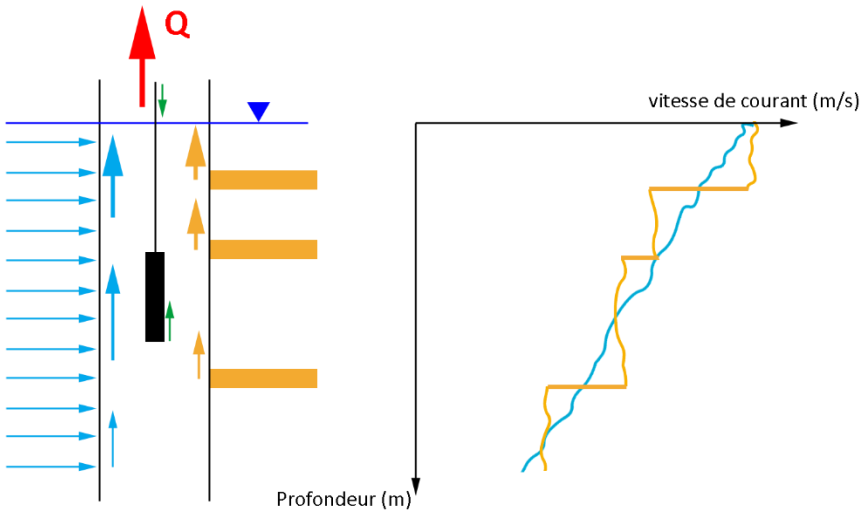


Figure 1 : Principe du micromoulinet en conditions homogènes et hétérogènes

Dans le cas d'un aquifère homogène, par exemple du sable, cette diminution de vitesse est linéaire. Dans le cas d'un aquifère hétérogène, on enregistre des paliers de diminution de vitesse. Ces paliers constituent les principales venues d'eau qu'on cherche à capter.

B. Résultat sur F1

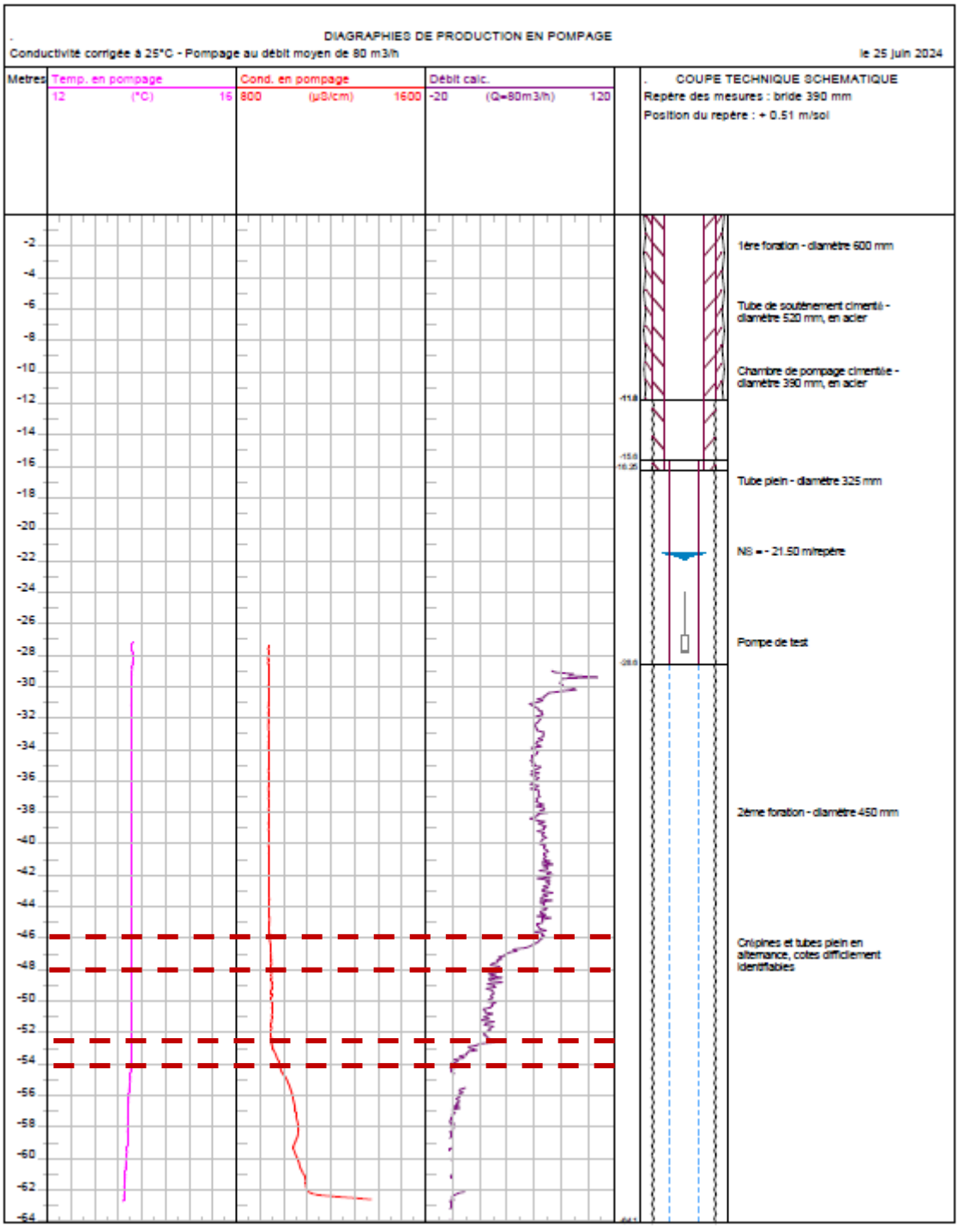


Figure 2 : Résultat du micromoulinet sur F1

C. Résultats sur F3

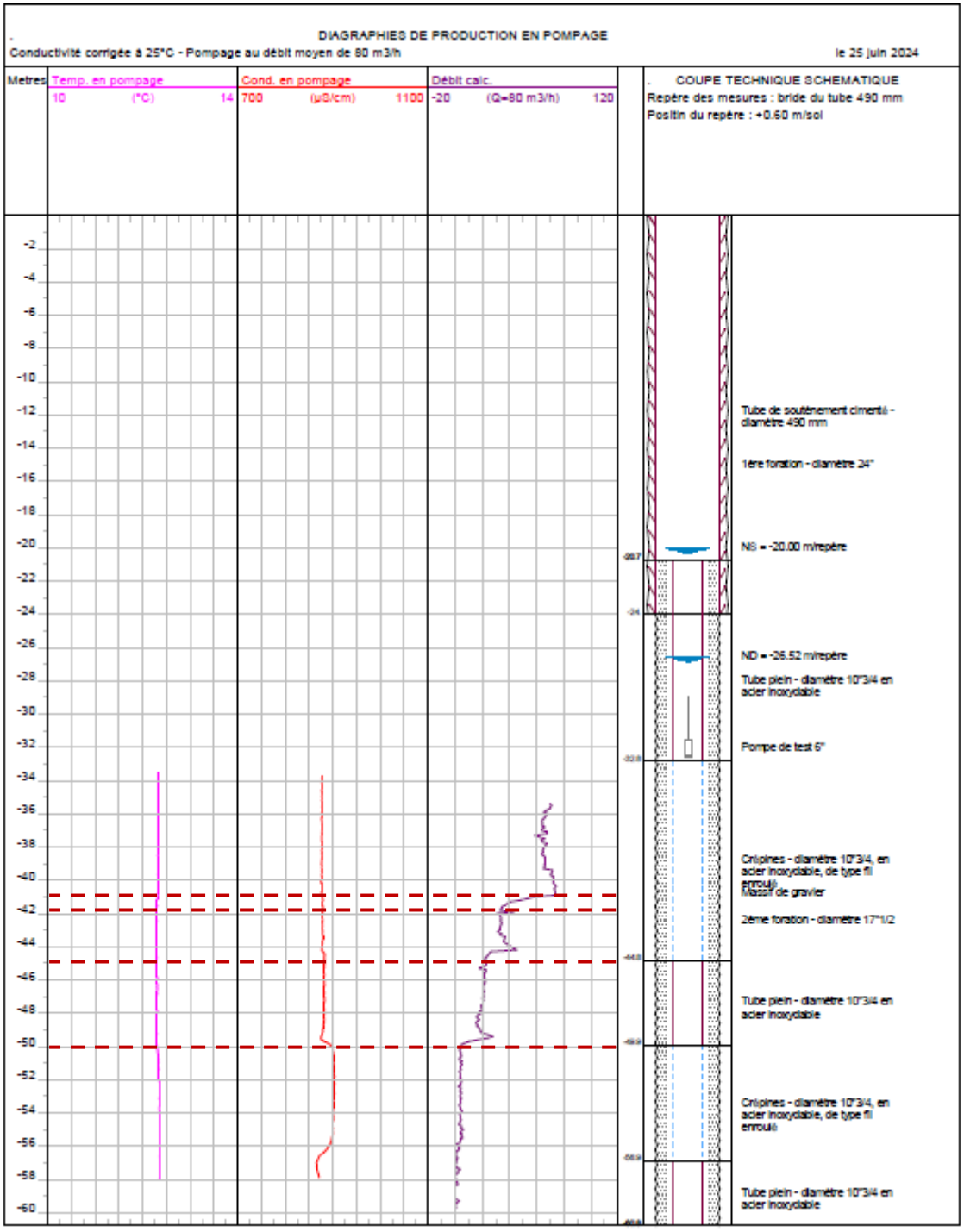


Figure 3 : Résultat du micromoulinet sur F3

D. Interprétation

Dans le forage F1, deux paliers de diminution du débit permettent de mettre en évidence deux venues d'eau majeures, la première entre 46 et 48m de profondeur, la seconde entre 52,5 et 54m.

Dans le forage F3, le premier palier de diminution du débit (et donc la première venue d'eau) se situe entre 41 et 42m de profondeur. La seconde est occultée par le tube plein entre 45 et 50m de profondeur. On note malgré tout, la diminution du débit avant et après le passage du tube plein.

Ces deux essais mettent en lumière le caractère hétérogène de l'aquifère visé. Néanmoins, une tendance se dégage dans l'emplacement des zones karstifiées. Afin de maximiser les chances de capter une zone karstifiée, il semble pertinent de **crépiner les éventuels prochains forages entre 35 et 55m de profondeur**. Afin d'augmenter le rabattement maximal (et donc le débit maximal exploitable), on peut y intercaler une épaisseur de tube plein au droit duquel on positionnera la pompe d'exhaure (comme c'est déjà le cas pour F3).

III. Pompage par paliers : Essai de puits

A. Principe

Le pompage d'essai par paliers consiste à pomper de l'eau dans le forage à des débits constants progressivement plus élevés, et mesurer la baisse du niveau de la nappe par rapport au niveau statique (ce qu'on appelle le « rabattement de nappe »). Lorsque le niveau se stabilise, généralement au bout d'une heure, on enchaîne avec un débit plus élevé. On obtient finalement une courbe du rabattement de nappe en fonction du débit, ce qu'on appelle la « courbe caractéristique du puits ».

Cette courbe est généralement de la forme $R = CQ^2 + BQ$. CQ^2, le terme quadratique, est relatif aux pertes de charge induites par les équipements et le design du puits. BQ, le terme linéaire, est quant à lui relatif à la décompression de l'aquifère, et donc à ses propriétés hydrauliques.

Cette courbe permet de déterminer un débit d'exploitation maximal du puits.

B. Interprétation de l'essai sur F1

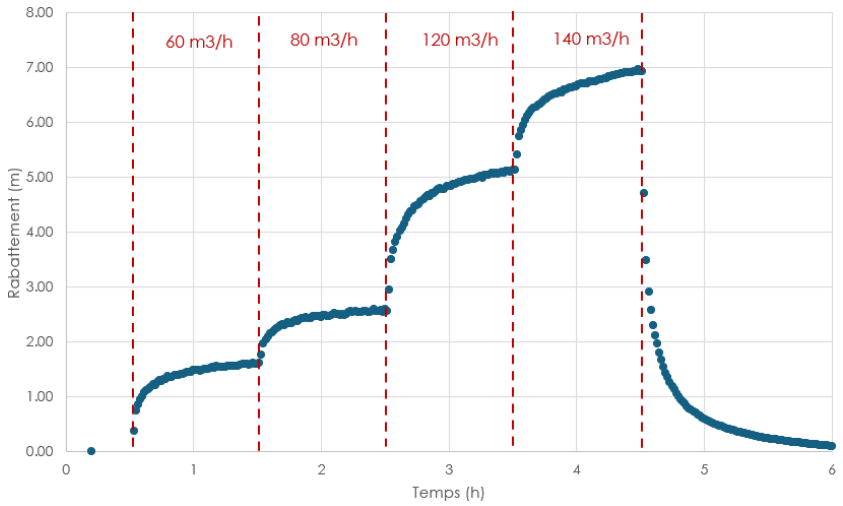


Figure 4 : Déroulement de l'essai de puits F1

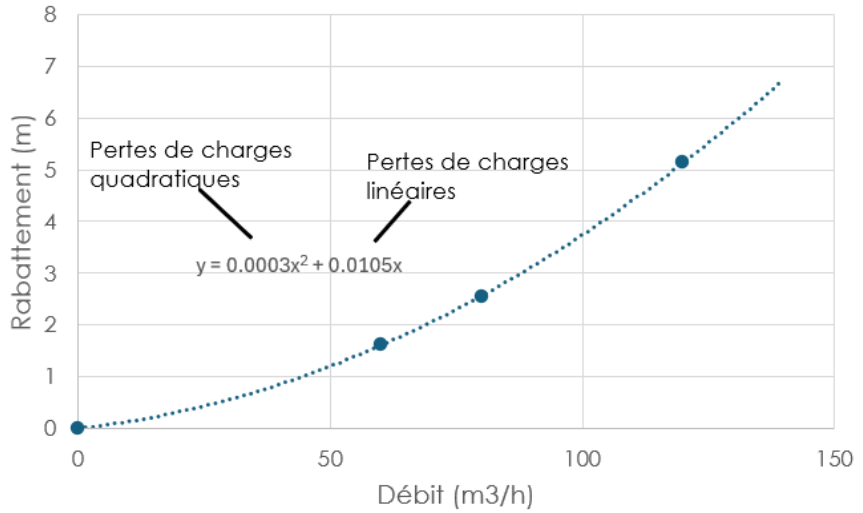


Figure 5 : Courbe caractéristique du puits F1

L'essai de puits s'est échelonné sur des paliers de débits de 60, 80, 120 et 140m³/h. Néanmoins, le rabattement ne s'est pas stabilisé sur ce dernier palier, il ne sera pas retenu pour les calculs suivants.

Le pompage a induit un rabattement maximal de 5,14 m pour un débit de 120m3/h, soit un débit spécifique de 23,3m³/h/m, ce qui traduit un ouvrage très productif.

L'équation du rabattement de la forme $R = 0.0003 \times Q^2 + 0.0105 \times Q$ met en évidence la faible part que l'aquifère joue dans le calcul des pertes de charge de l'ouvrage.

C. Interprétation de l'essai sur F3

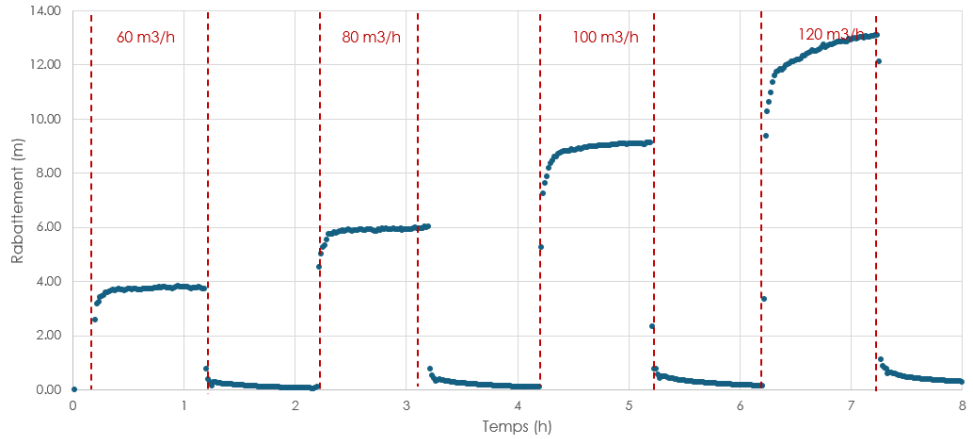


Figure 6 : Déroulement de l'essai de puits F3

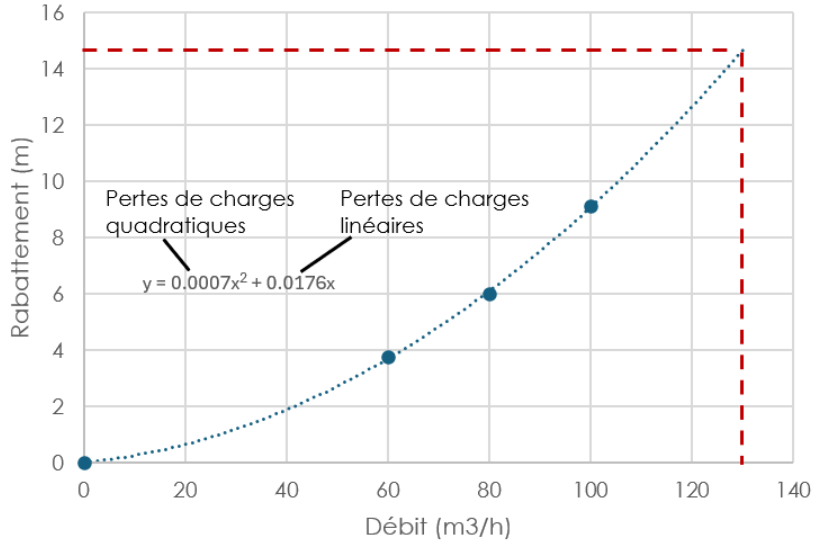


Figure 7 : Courbe caractéristique du puits F3

L'essai de puits s'est échelonné sur des paliers de débits de 60,80,100 et 120m³/h. Néanmoins, le rabattement ne s'est pas stabilisé sur ce dernier palier, il ne sera pas retenu pour les calculs suivants.

Le pompage a induit un rabattement maximal de 9,11 m pour un débit de 100m3/h, soit un débit spécifique de 11 m³/h/m, ce qui traduit un ouvrage moins productif que F1 (notamment dû à la présence d'un massif filtrant).

L'équation du rabattement de la forme $R = 0.0007 \times Q^2 + 0.0176 \times Q$ met en évidence la faible part que l'aquifère joue dans le calcul des pertes de charge de l'ouvrage.

Sur un puits équivalent à F3, mais où les crépines auraient été positionnées à 35m de profondeur plutôt que 32,8m, on pourrait accepter un rabattement de 15m, ce qui équivaudrait à un **débit exploitable de 130m³/h**.

IV. Pompage longue durée : Essai de nappe

A. Principe

L'essai de nappe consiste à pomper de l'eau dans un forage à un débit constant sur une période de 8 à 72h. Idéalement, le rabattement est mesuré sur un ou plusieurs piézomètres d'essai situés à distance du forage testé. Cette fois-ci, on étudie la forme du cône de rabattement induit par le pompage autour du forage. Cet essai sert deux objectifs principaux :

- Déterminer les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère (notamment sa transmissivité *T* (m^2/s) et son coefficient d'emmagasinement *S* (-))
- Déterminer à partir de variations anormales du rabattement si l'aquifère est affecté par des limites imperméables ou au contraire est réalimenté
- Dans le cas d'un aquifère karstique comme c'est le cas ici, l'évolution du rabattement sur différents piézomètres d'observation nous permet de tester la connexion entre les différents karsts

B. Interprétation de l'essai sur F1

L'essai longue durée a été menée sur une durée de 48h, à un débit de 130m³/h. Le niveau dynamique a été mesuré sur le puits de pompage et sur le piézomètre PZ25. L'évolution globalement logarithmique du rabattement au droit de F1 tend à montrer que le pompage n'est **pas affecté par une limite imperméable ou une recharge à proximité.**

Cependant, sur le piézomètre d'observation PZ25, on constate une diminution du rabattement imputable à des facteurs extérieurs hors de notre contrôle. Cela nous empêche de trancher sur les propriétés hydrauliques du milieu.

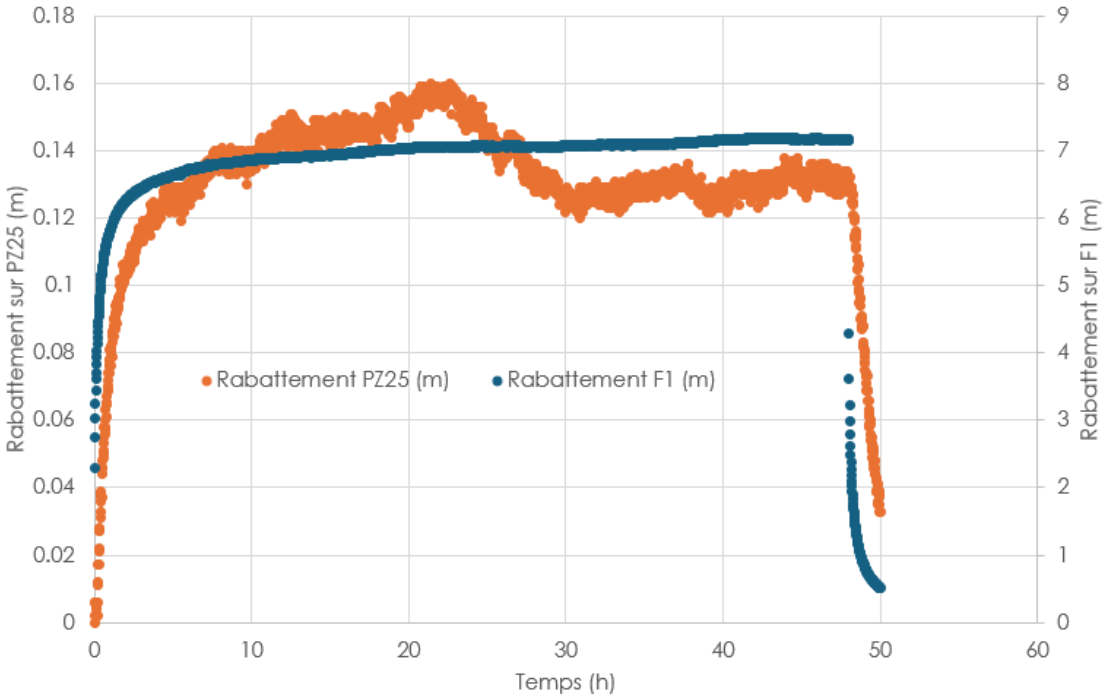


Figure 8 : Mesure du rabattement sur F1 et PZ25 lors de l'essai longue durée

C. Interprétation de l'essai sur F3

L'essai longue durée a été mené sur une durée de 48, à un débit initial de 120m³/h, réduit à 105m³/h pour éviter de dénoyer les crépines. Cette réduction du débit proscrit toute détermination des propriétés hydrauliques de l'aquifère.

Par ailleurs, les données extraites des piézomètres d'observation traduisent une diminution globale du niveau de la nappe, néanmoins l'évolution du niveau piézométrique est trop chaotique pour déterminer les paramètres de l'aquifère. Cela nous indique malgré tout que **les structures karstiques au droit du site sont relativement bien connectées entre elles.**

On détermine à nouveau **l'absence de toute limite imperméable à proximité du site.**

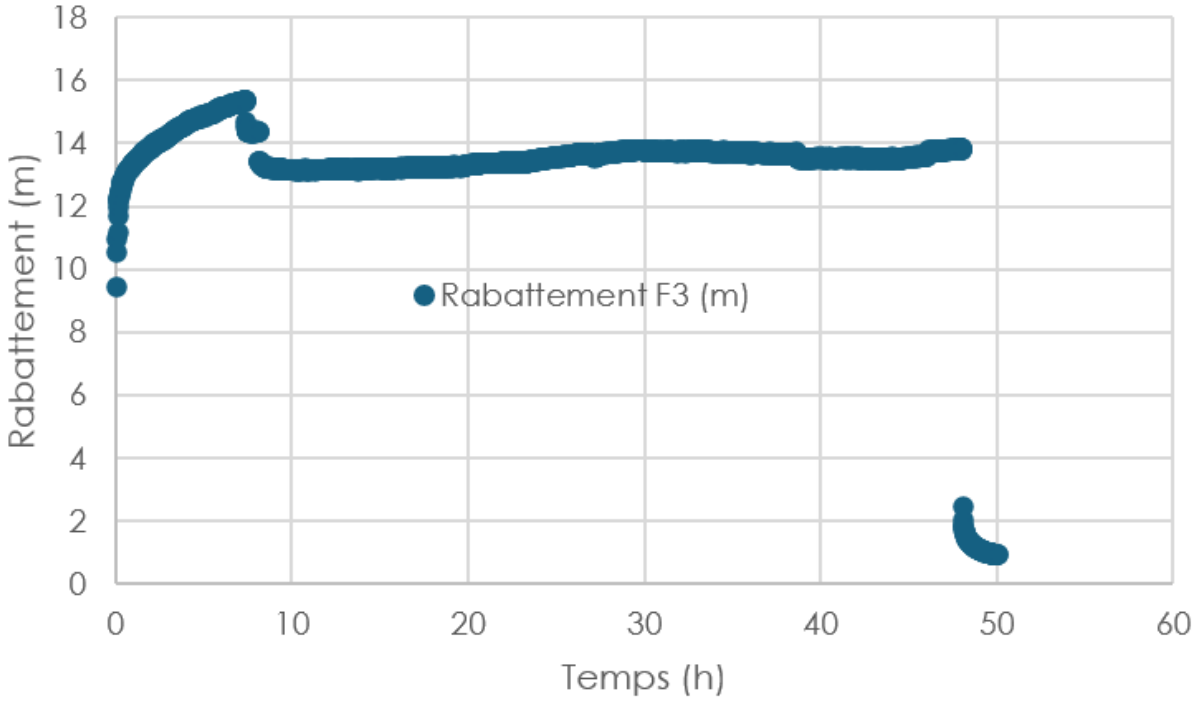


Figure 9 : Mesure du rabattement sur F3 lors de l'essai longue durée

V. Pompage par paliers / longue durée : Essai de réinjection

A. Principe

On cherche cette fois-ci à caractériser la capacité du puits F1 à servir sa fonction finale, à savoir réinjecter l'eau pompée dans F3. Pour ce faire, un essai longue durée a été mené avec F3 en puits de production, et F1 en puits de réinjection.

B. Interprétation de l'essai

On constate une évolution du niveau dynamique d'environ 4,3m en injectant un débit de 105m³/h. Cette valeur de rabattement est symétrique aux valeurs obtenues lors de l'essai par palier (en clair, l'augmentation du niveau dynamique lors de l'injection est identique à la baisse du niveau lors du pompage). En extrapolant cette tendance, on estime le **puits F1 capable d'accepter 220m³/h** et donc de **servir d'injecteur à deux puits producteurs**. Cette estimation devra être confirmée ou infirmée par un test d'injection à ce débit.

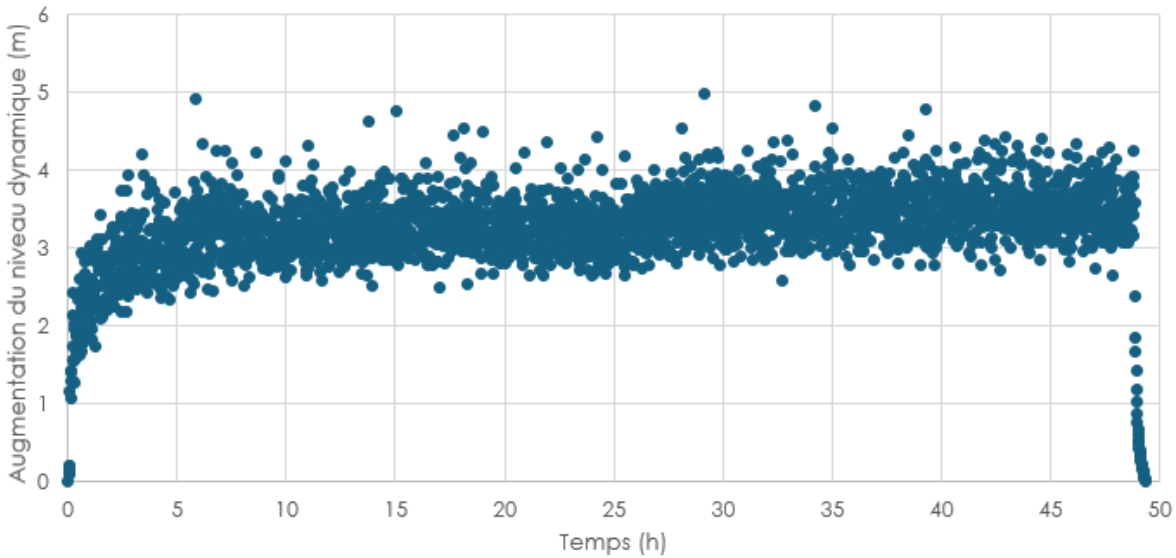


Figure 10 : Evolution du niveau dynamique dans le puits F1 pendant le test de réinjection

VI. Estimation de la capacité de production géothermique

Au vu du sens d'écoulement de la nappe et de la disposition du site, nous pouvons envisager l'implantation d'un ou deux puits producteurs supplémentaires, et d'un ou deux puits injecteurs en fonction de la capacité d'injection dans ces derniers.

Le forage F3 est capable de produire 105m³/h. Nous estimons les forages de production suivant capables de produire **entre 100 et 120m³/h.**

A partir de ces hypothèses :

- Un système géothermique constitué de deux doublets devrait pouvoir **soutirer entre 1,2 et 1,3MW du sous-sol**
- Un système géothermique constitué de trois doublets devrait pouvoir **soutirer entre 1,7 et 2 MW du sous-sol**

L'esquisse réalisée par NALDEO concluait **qu'1,7MW de puissance géothermique installée** (soit **1,2MW de puissance soutirée du sous-sol**) permettait de **substituer 90% du gaz**.

