Rapport d'étude pour la mise en place d'une solution de géothermie sur nappe



Référence : 23-05-01-RA01-V0

	Fonction	NOM	Date	Signature
Rédaction	Géologue	Y. MELEARD	12/08/2023	
Vérification	Chef de projet	F. PASCAUD	22/08/2023	
Validation	Président	J. PORFIRIO	26/08/2023	

GEOTHERMAQ SAS - j.porfirio@geothermaq.com - 07 87 33 73 00 - 2 avenue Pierre Angot 64000 Pau

I. Table des matières

I. Table des matières 2
II. Contexte et objet de la mission 4
A. Cadre du projet Stellantis 4
A. Contexte du projet de géothermie 5
III. Missions réalisées sur site 7
A. Diagnostic Forage F1 7
A. Essais de pompage F2 et injection F1 7
B. Analyses d'eau 8
IV. Contexte hydrogéologique – Données bibliographiques 9
A. Contexte géologique 9
A. Contexte hydrogéologique du site 11
V. Étude du potentiel de la nappe 13
A. Interprétation des tests de pompage 13
A. Dimensionnement du puits de pompage F3 17
B. Interprétation des analyses d'eau 19
1. Indice de Langelier 20
2. Indice de Ryznar 21
3. Indice de Leroy 21
4. Conclusions partielles 22
VI. Étude de positionnement d'un doublet dans le cadre de la GMI – Modélisation hydrogéologique 23
A. Cadre réglementaire de la Géothermie de Minime Importance (GMI) 23
A. Transformation du F1 en puits injecteur 25
B. Position du puits de pompage 26
C. Outils mis en œuvre et limites de la modélisation 28
D. Caractéristiques du modèle 28
1. Extension du modèle 28
2. Topographie et conditions aux limites 29
3. Recharge pluviale 29
4. Champ de perméabilités 30

5. Propriétés thermiques du sous-sol 31
6. Prélèvements des puits 31
E. Résultats de la modélisation 32
1. Impact des puits sur la piézométrie 32
2. Panache thermique après 20 ans de fonctionnement 33
F. Travaux de forage 34
G. Programme de test 36
H. Pompe d'exhaure 36
I. Equipements de puits 38
J. Réadaptation de F2 38
K. VRD 39
VII. Contexte réglementaire 40
A. SDAGE 40
A. SAGE 40
B. Code Civil 40
C. Zones naturelles 40
D. Forages à proximité du site 42
E. Plan de prévention des risques 44
F. BASOL 45
G. ICPE 46
H. Transport de matières dangereuses 47
I. Code Civil 47
J. Eaux Usées 48
VIII. Coûts d'investissement et d'exploitation 49
A. Coût d'investissement des installations sous-sol : 49
A. ANNEXE 1 : LEXIQUE 51
B. Analyses d'eau 52

II. Contexte et objet de la mission

A. Cadre du projet Stellantis

Dans le but d'optimiser ses dépenses énergétiques et la volonté d'adresser les enjeux environnementaux, le Groupe STELLANTIS a engagé depuis 2020 sur son site de Caen un projet de réduction de ses consommations en gaz et en eau.

Dans ce cadre, STELLANTIS a souhaité l'étude de solutions permettant la suppression du chauffage au gaz dans le bâtiment 40 et a confié à NALDEO une mission de MOE pour l'étude globale du projet. Le projet intègre une solution de géothermie et doit aboutir à deux cahiers des charges (CdC) permettant à STELLANTIS de consulter les entreprises pour la mise en œuvre de la solution, un CdC global et un CdC pour la géothermie, partie sous-sol.

GEOTHERMAQ s'est vu confier la mission de l'étude du potentiel géothermique du site.

Le site de Caen exploite par deux forages une nappe aquifère dont l'étude du potentiel en géothermie doit permettre d'évaluer la capacité maximum à couvrir des besoins en chaud et en froid pour le confort et en froid pour les process de l'usine dans le cadre de remplacement des tours aéroréfrigérantes (TAR). Suivant les capacités de la nappe plusieurs scénarios ou phases pourront être envisagés par STELLANTIS dans le cadre de la GMI ou dans le cadre d'un permis minier d'exploitation de gîte géothermique.

Cette étude ne concerne que la mise en place d'une GMI.



Figure 1 : Localisation du projet sur photographie aérienne (Géoportail)

A. Contexte du projet de géothermie

L'usine STELLANTIS de Caen possède deux puits (F1 et F2) qui sont actuellement utilisés pour remplir des cuves afin d'alimenter en eau l'installation de refroidissement des chaînes de fabrication. Une citerne sert également de réserve incendie.

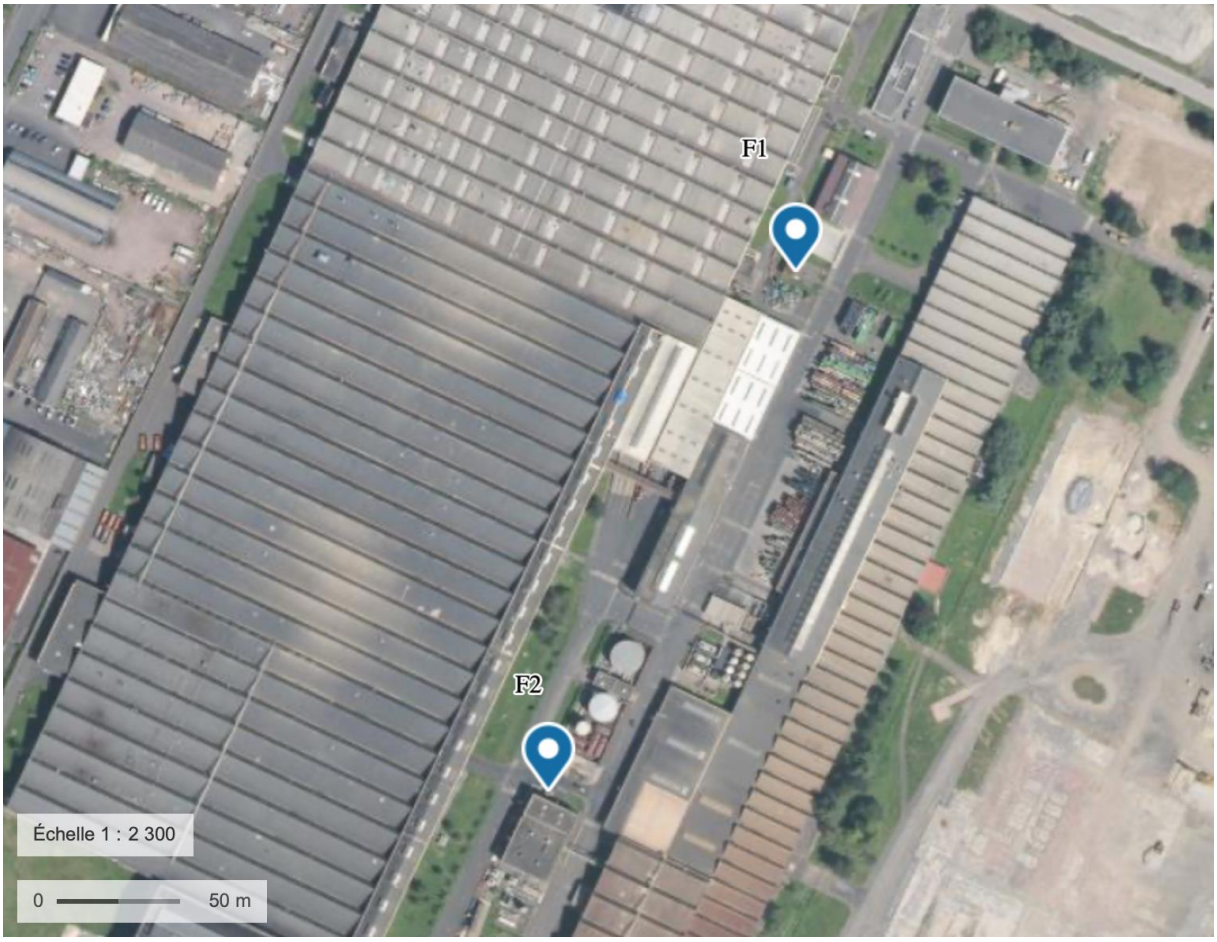


Figure 2 : Localisation des puits F1 et F2 sur photographie aérienne (Géoportail)

Les caractéristiques générales de ces puits sont les suivantes :

	F1	F2
Indice BSS	0120-5X-0007	0120-5X-0008
Date forage	1953	1964
Profondeur actuelle (m)	64,25	57
Aquifère exploité	Nappe libre du Bathonien	Nappe libre du Bathonien
Pompage d'exploitation	80 m3/h	40 m3/h

Afin de dissocier l'exploitation de l'aquifère pour les besoins de l'usine et sa future exploitation pour la géothermie et à l'issue d'échanges entre la DREAL, STELLANTIS et GEOTHERMAQ il a été décidé, dans le cadre de la GMI, de :

- Conserver le puits F2 pour l'exploitation de l'usine
- Utiliser le puits F1 pour le futur doublet géothermique en tant que puits injecteur
- Réaliser un puits F3 de pompage pour le doublet géothermique

L'étude se focalise donc sur :

- La caractérisation du potentiel de la nappe à partir des puits F1 et F2
- La transformation du puits F1 en injecteur
- Le dimensionnement d'un puits de pompage F3

Dans ce but, une mission de tests et mesures a été réalisée sur site du 5 au 9 juillet 2023, avec pour objectifs de :

- Réaliser un diagnostic du puits F1dans le but de s'assurer de son état et de sa compatibilité avec une utilisation en réinjection pour de la géothermie.
- Réaliser des tests de pompage et réinjection sur les puits F1 et F2 afin de récolter des données sur la capacité de la nappe à alimenter un projet de géothermie en pompage et en réinjection.
- Réaliser des analyses d'eau afin de caractériser la biochimie, valider sa compatibilité avec le projet et dimensionner les équipements en fonction.

III. Missions réalisées sur site

L'ensemble des opérations réalisées lors de la mission du 5 au 89 juillet est détaillé dans le compte-rendu fourni par NALDEO à STELLANTIS, nous reprendrons ici les points clés. Les données récoltées lors des tests de pompage par paliers et de longue durée constituent, en complément des données bibliographiques, la base de notre étude de potentiel.

A. Diagnostic Forage F1

Afin d'effectuer le diagnostic du puits F1 la pompe d'exploitation a été sortie de l'ouvrage et une caméra d'inspection introduite :

- La colonne d'exhaure et la pompe présentent un état superficiel dégradé par l'oxydation, présence de rouille. L'état structurel de l'ensemble permet cependant une remise en place à la suite des tests.
- Le câble d'alimentation d'une pompe abandonnée au fond de l'ouvrage obstrue le puits à 38,9m, le diagnostic n'a pu être mené sous cette cote. Une opération de récupération de la pompe abandonnée en fond de puits sera nécessaire dans le cadre de la transformation de F1 en puits d'injection.
- Les crépines sont en train de se reboucher, de nombreuses concrétions calcaires sont observées, un entretien du puits est à prévoir lors de sa transformation en puits d'injection.

Avant une analyse approfondie des résultats, les premières observations terrain du test de pompage par paliers montrent une faible hauteur de rabattement qui est encourageante quant à la dynamique de la nappe. Le niveau statique est mesuré à -21,40 m (Z sol), les 3 niveaux dynamiques mesurés sont les suivants :

- Niveau dynamique à 20m^3/h = -21.75 m
- Niveau dynamique à 40m^3/h = -22.45 m
- Niveau dynamique à 60m^3/h = -23.23 m

A. Essais de pompage F2 et injection F1

Afin d'étudier la transmissivité et de déterminer le coefficient d'emmagasinement de la nappe un test par paliers et un test longue durée de 48h ont été effectués par pompage sur le puits F2 et réinjection dans le puits F1.

Les deux ouvrages ont été reliés et équipés comme suit :

- Connexion des deux forages via des flexibles (300 mètres environ) type tuyaux de pompiers.
- Installation d'un débitmètre en sortie du F2.
- Introduction d'un tube de réinjection de 2m dans F1.

- Installation de capteurs dans les 5 piézomètres présents sur le site afin d'acquérir des mesures de niveau tout au long de l'essai.
- Réalisation des 3 paliers et du test de pompage longue durée de 48h.

Les données récoltées lors de ces tests sont analysées dans cette étude.

B. Analyses d'eau

Les eaux souterraines à usage énergétique doivent répondre à des critères précis biochimiques permettant leur utilisation à des fins géothermiques. Par ailleurs, le dimensionnement des équipements du futur ouvrage F3 pourra être conditionné par la composition de l'eau.

Cette analyse est conforme aux exigences de l'AQUAPAC (Travaux de forage p. 37)

Des prélèvements ont donc été réalisés pendant le test par palier sur le puits F2 et analysés en laboratoire. Les résultats sont interprétés dans cette étude.

IV. Contexte hydrogéologique – Données bibliographiques

A. Contexte géologique

D'après la carte géologique du BRGM de Caen au 1/50 000e, le site repose sur les calcaire de Blainville (Bathonien moyen). Ce sont des calcaires bioclastiques, oolithiques à Polypiers et Stromatopores, avec stratification oblique ou planaire



Figure 3 : Géologie affleurante à proximité du site

Les forages F1 et F2 permettent d'établir la coupe géologique au droit du site :

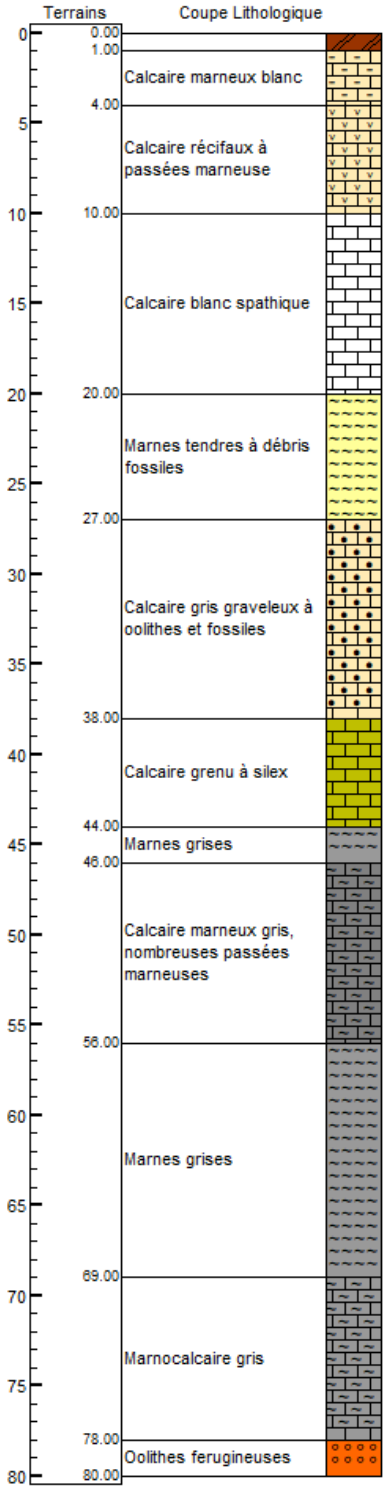


Figure 4 : Coupe géologique au droit du site

A. Contexte hydrogéologique du site

Plusieurs aquifères sont présents au droit du site, et sont référencés par le Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau (SANDRE). La nappe du Bathonien moyen est l'aquifère cible pour l'installation géothermique. L'aquifère du Bathonien est un aquifère multicouches. Les niveaux calcaires (calcaire de Caen, calcaire de Creully, calcaire de Blainville, calcaire de Ranville, calcaire de Langrune, etc) sont séparés par des niveaux moins perméables et plus marneux, appelés caillasses (caillasse de Fontaine-Henry, caillasse de Blainville, caillasse de la Basse-Ecarde). D'une épaisseur variable d'environ 10 m à l'ouest, à près de 90 m au sud-est de Caen, cet aquifère est considéré comme multi-couche. La nappe est de type libre.

Les données du Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines (SIGES) ainsi que les données recueillies sur site permettent de définir la piézométrie et l'écoulement de la nappe au droit du site.

D'après la bibliographie, la formation du Bathonien a **une perméabilité forte grâce aux nombreuses fractures présentes dans la formation. Cette perméabilité est de l'ordre de 0.0005m/s**, et **l'écoulement de la nappe est dirigé vers le Nord-Est**, avec un gradient de 0.8%. Cela représente une **vitesse d'écoulement de 0.864m/jours**. Les

pompages d'essais effectués à proximité du site permettent de déterminer pour cette nappe une **porosité de 20%** et une **transmissivité de 0.00694m²/s.**

L'ensemble de ces valeurs issues de la bibliographie peuvent varier localement en raison du contexte géologique particulier et imprévisible (formation composée de roches calcaires fracturées).



Figure 5 : Carte piézométrique de l'aquifère du Bathonien

V. Étude du potentiel de la nappe

A. Interprétation des tests de pompage

Dans le cadre de cette étude, des tests de pompage ont été réalisés afin de caractériser le comportement de la nappe phréatique en fonction du débit exploité. L'objectif principal de ces tests était de déterminer les niveaux de rabattements de la nappe, c'est-à-dire la baisse du niveau d'eau souterraine provoquée par le pompage, en relation avec les débits d'extraction. Cette information est essentielle pour évaluer l'impact environnemental et la durabilité des prélèvements d'eau souterraine dans la zone d'étude.

Le débit d'extraction a été progressivement augmenté pendant la phase de pompage, et le niveau de rabattement de la nappe a été enregistré à intervalles réguliers. Pour minimiser les perturbations, nous avons pris soin de réaliser ces tests sur une période suffisamment longue pour que la nappe puisse atteindre un état d'équilibre avant chaque mesure.

Les 2 graphiques ci-dessous ont été fournis par Hydro Assistance et permettent d'observer l'évolution des niveaux sur l'ensemble des forages durant les différents essais.

Commune : Caen (14)

Repère des mesures = sol

Forage : F1

Niveau statique = - 21.59 m/sol

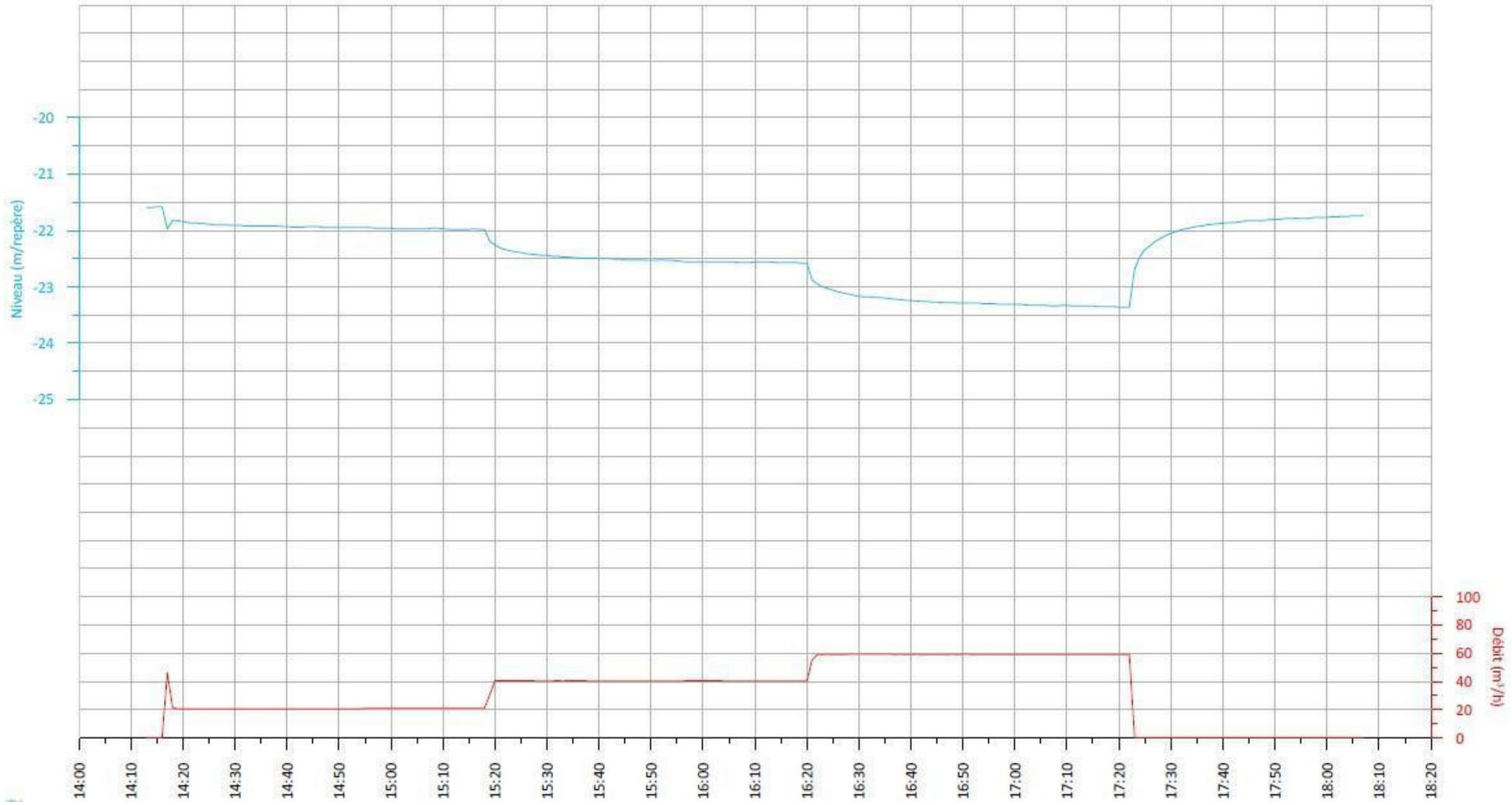


Figure 6 : Suivi de pompage du test de pompage par paliers du 06/07/2023 (forage F1)

Commune : Caen (14)
Forage : F2

Repère des mesures = sol
Niveau statique = - 20.85 m/sol

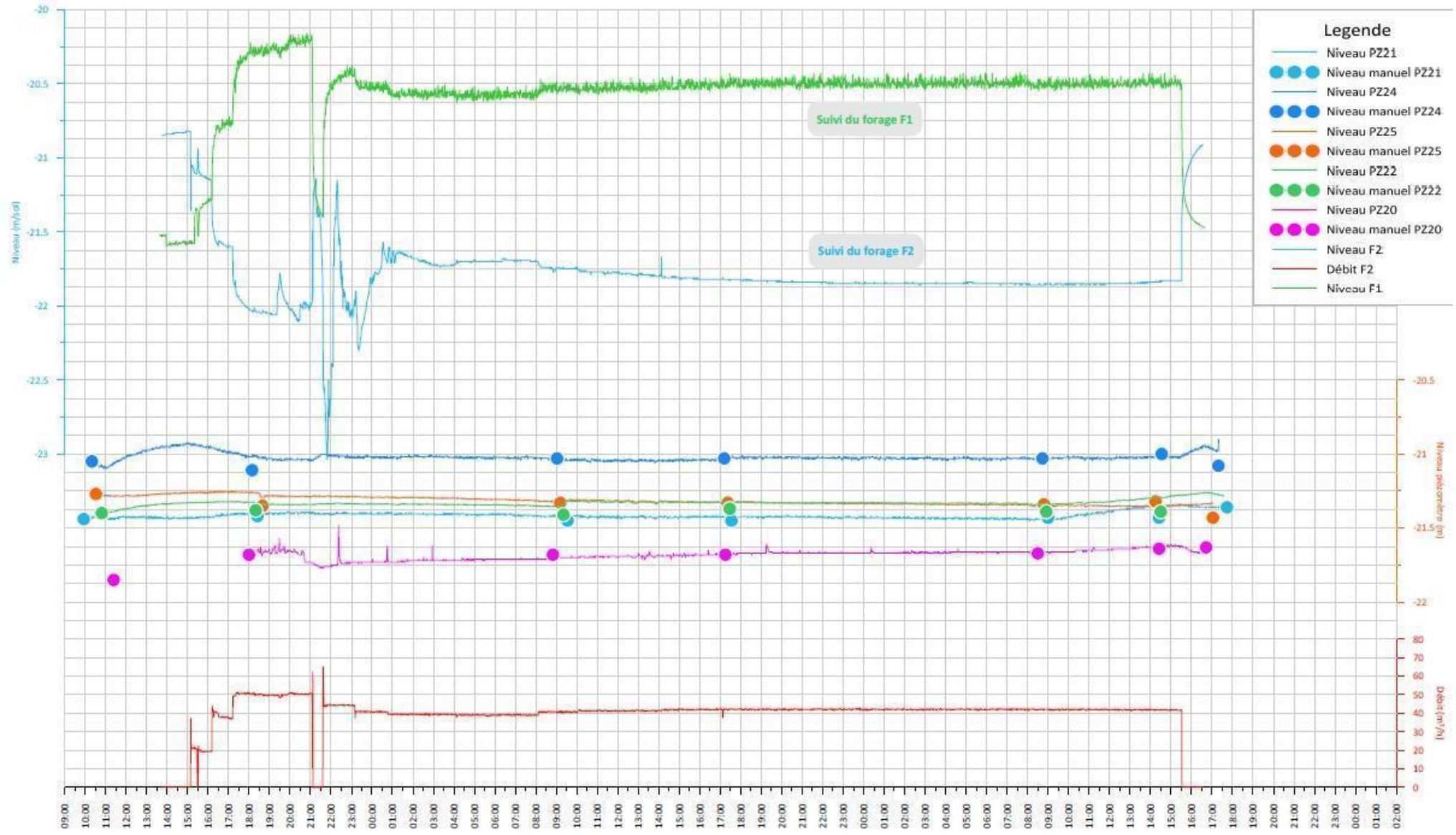


Figure 7 : Suivi du pompage par paliers et du pompage de longue durée du forage F2 et des piézomètres du 7 au 9 juillet 2023

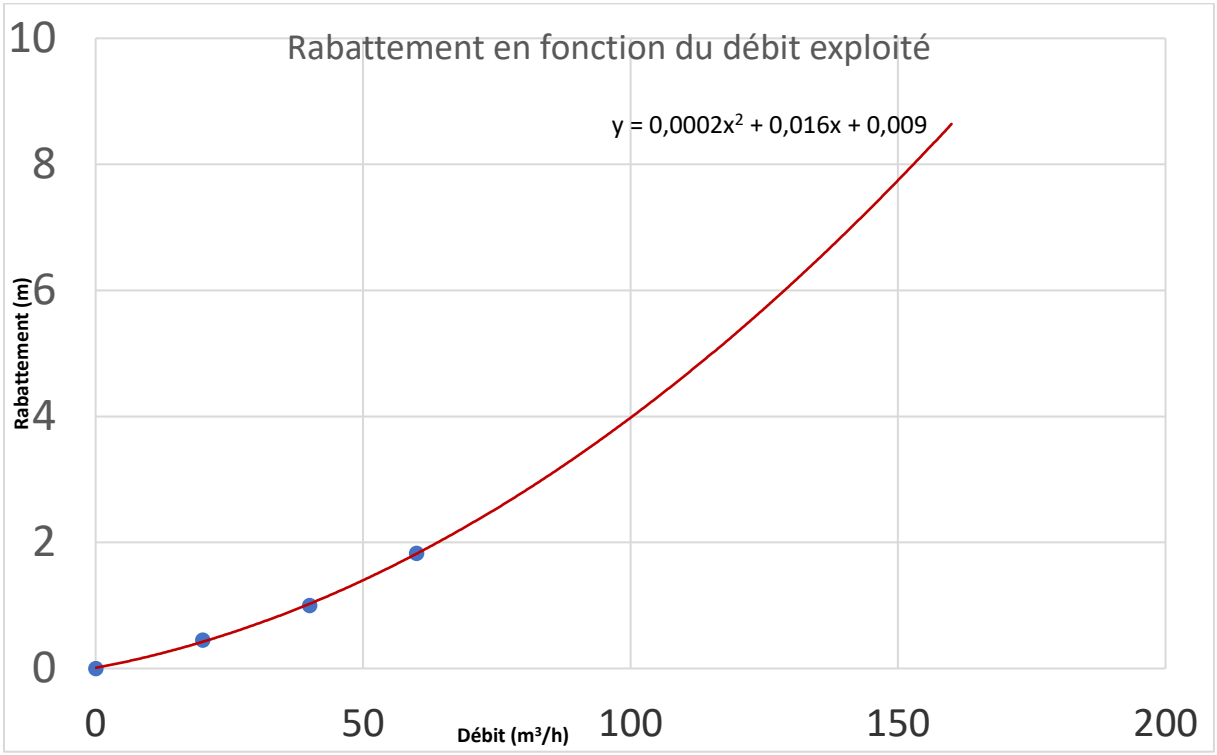


Figure 8 : Graphique du niveau de rabattement en fonction du débit exploité

La relation entre le rabattement de la nappe et le débit d'extraction suit une tendance polynomiale de degrés 2, confirmant ainsi l'hypothèse selon laquelle l'exhaure d'eau souterraine entraîne une diminution directe du niveau de la nappe. Cependant, il est important de noter que cette relation pourrait ne pas suivre la courbe de tendance (en rouge sur le graphique ci-dessus) pour des débits d'extraction extrêmement élevés, où d'autres facteurs tels que la perméabilité du sol pourraient entrer en jeu.

En utilisant ces données, il est également possible de définir des limites d'extraction raisonnables afin de maintenir un équilibre entre la disponibilité de l'eau souterraine et les besoins en eau des utilisateurs. Une gestion appropriée des prélèvements d'eau basée sur ces résultats permettra de prévenir les risques de surexploitation de la nappe et de garantir la durabilité de la ressource sur le long terme.

En ce qui concerne le projet, dans le cadre de la GMI, le débit d'exploitation ne doit pas dépasser **80m³/h** ce qui correspond à un **rabattement de 2.57 mètres** ($y = 0.0002*80^2 + 0.016*80 + 0.009$). Cette valeur étant déduite d'un test de pompage de 48h à un débit de 40m³/h, aucune garantie ne peut être faite quant au bon comportement de l'aquifère, l'aléa géologique ne pouvant être oublié. Cependant, au vu du bon comportement global de la nappe, la valeur de rabattement évoquée plus haut parait réaliste.

A. Dimensionnement du puits de pompage F3

En rassemblant l'ensemble des données récoltées (niveau statique, coupe technique des ouvrages, géologie…) et en veillant à respecter les normes en vigueur, il est possible de concevoir une coupe du puits de pompage F3 et de connaître le débit théorique maximum qu'il pourra exploiter :

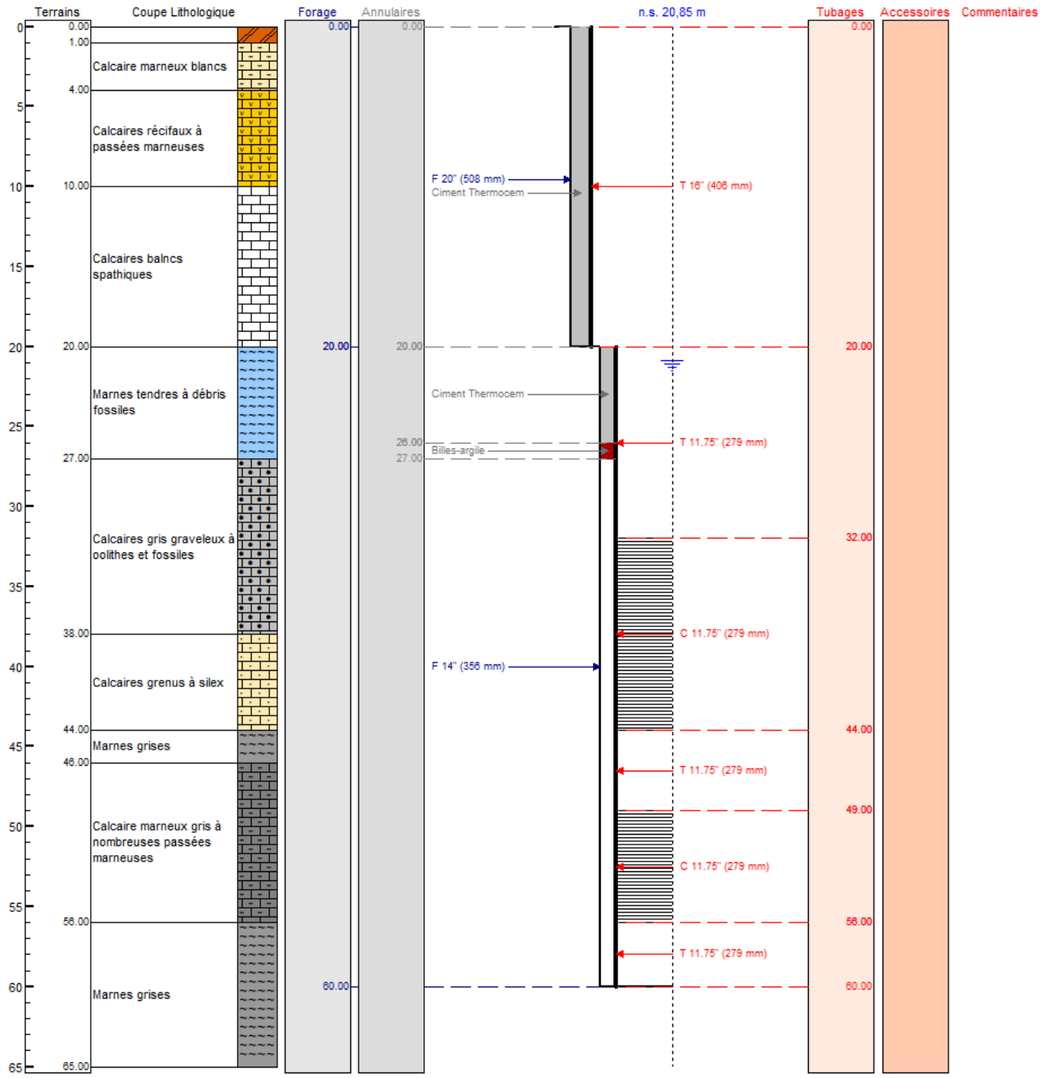


Figure 9 : Coupe technique F3

Cette coupe montre une distance de 11,15 mètres entre le niveau statique (noté n.s) et les crépines. Pour rappel, les crépines ne doivent jamais être dénoyées. De plus, la pompe immergée doit être au moins sous 7,50 mètres d'eau (valeur de la NPSH de la pompe). En plaçant la pompe immergée entre -44 et -49 mètres, on s'assure que la pompe reste immergée sous suffisamment d'eau et on obtient une valeur maximum de dénoyage de 11,15 mètres. En se référant au graphique plus haut, le débit correspondant à 11,15 mètres de rabattement est un débit de 210m³/h environ. Cependant, le niveau statique peut être amené à varier en fonction des saisons. Afin de prendre un minimum de risques, un **débit maximum de 200m³/h** (correspondant à un rabattement de 11 mètres) sera retenu. Cette valeur reste une valeur théorique (le risque géologique subsiste. De plus, cette valeur est largement supérieure au débit maximal de prélèvement autorisé dans le cadre d'un forage de GMI ce qui est encourageant quant à la réussite du projet. En effet, les tests de pompages qui seront réalisés lors du forage F3 permettront de vérifier que le puits est capable de produire les 79m³/h attendus.

B. Interprétation des analyses d'eau

Le B.R.G.M. a établi un Système d'Évaluation de la Qualité (SEQ) des eaux souterraines à usage énergétique réparti en 5 classes d'aptitudes et suivant 3 classes d'altération. Les eaux souterraines sont alors classées suivant un code couleur repris dans le Tableau ci-dessous.

Classe d'aptitude pour satisfaire l'usage	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Inapte à satisfaire l'usage
Altération température	Favorable à l'usage énergétique considéré	Permet l'usage énergétique considéré	Usage délicat pour raisons techniques ou économiques	Classe non définie	Classe non définie
Altération corrosion	Absence de corrosion	Corrosion faible	Corrosion modérée	Corrosion moyenne	Corrosion forte
Altération formation de dépôts	Pas de risques de dépôts importants	Peu de risques de dépôts	Risque de dépôts	Classe non définie	Dépôts très importants

Paramètres	Unités	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge	Forage
Température	°C	Entre 15 et 60	Entre 8 et 15	<8 ou >60	-	-	16.8

Figure 10 : Altération température : usage de PAC

La température de l'eau indique une excellente aptitude au regard de l'altération température à l'usage de pompe à chaleur.

Paramètres	Unités	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge	Forage
CO_2 dissous	Mg/l		50	120	200	-	
O_2 dissous	Mg/l	Absence ou >8	Entre 0 et 1		Entre 1 et 4	Entre 4 et 8	8.62
pH	-	>9.8	Entre 7 et 9.8	Entre 6 et 7		<6	7.1
Chlorure	Mg/l	150		400	1000		51.6
Sulfates	Mg/l	250		500	1500		53
Ferro-bactéries		Absence				Présence	Absence
Bactéries sulfato-réductrices	N/ml	Absence	10		100		<1
Sulfures	Mg/l HS^-		0.1	8	50		

Figure 11 : Altération corrosion

L'ensemble des paramètres analysés montrent une aptitude très bonne à bonne au regard de l'altération corrosion.

Paramètres	Unités	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge	Forage
pH	-	7.26	-	-	-	-	7.26

Figure 12 : Altération formation de dépôts

1. Indice de Langelier

L'indice de Langelier ou indice de saturation caractérise l'agressivité d'une eau. Il se définit par la formulation suivante :

IL = pH - pHS

Avec :

IL = indice de Langelier

pH = potentiel en hydrogène mesuré de l'eau, ici 7.26

pHS = potentiel en hydrogène de saturation déduit, ici 7.15

Une eau agressive est caractérisée par un indice négatif, ce qui signifie que l'eau est sous-saturée en carbonate de calcium : elle dissout le calcaire. Si l'indice de saturation

est positif, l'eau est dite incrustante ou entartrante : il y a formation de dépôts carbonatés.

Ici, l'indice de Langelier est de +0.11, l'eau est donc entartrante.

2. Indice de Ryznar

L'indice de Ryznar ou indice de stabilité permet également de caractériser l'agressivité d'une eau. Sa formulation est la suivante :

IR = 2 pHS - pH

Avec :

IL = indice de Ryznar

pHS = potentiel en hydrogène de saturation, ici 7.15

pH = potentiel en hydrogène mesuré de l'eau, ici 7.26

Le tableau ci-après donne la relation entre l'indice de stabilité et l'agressivité de l'eau:

Indice de Ryznar	**Caractère de l'eau**
4 à 5	Entartrage important
5 à 6	Entartrage faible
6 à 7	Equilibre
7 à 7.5	**Légère agressivité**
8 à 8.5	Agressivité notable
>8.5	Agressivité importante

L'indice de Ryznar est de 7.04, l'eau est donc légèrement agressive, à la limite de l'équilibre.

3. Indice de Leroy

L'indice de Leroy est égal au rapport du TAC (ici 25.52) sur le TH (ici 39). Il permet de confirmer ou non la tendance à la corrosion d'une eau. Avec des concentrations

exprimées en meq/l, l'eau est considérée comme non corrosive si l'indice est compris entre 0,7 et 1,3.

Dans le cas de l'étude, l'indice de Leroy vaut 0.65 ce qui signifie que l'eau a une légère tendance à la corrosion.

4. Conclusions partielles

Au regard des observations réalisées au cours de la diagraphie caméra mais également lors de la dépose de la pompe et de la colonne d'exhaure, et de la présence de nombreuses traces de corrosions, il apparait judicieux de procéder au nettoyage, à la désinfection et au développement de l'ouvrage. À la vue de l'ancienneté de cet ouvrage (créé en 1964), cela peut s'apparenter à une opération de maintenance comprenant les principales étapes suivantes :

Étape n°1 : Développement

Une acidification aura comme principal objectif de favoriser le développement des niveaux productifs de l'aquifère calcaire qui auraient pu se colmater au cours du temps (concrétions calcaire).

Étape n°2 : Nettoyage

Le nettoyage de l'ouvrage par brossage permettra d'éliminer les traces de corrosion mises en évidence au cours de la diagraphie caméra et ainsi annihiler toute source de contamination par le fer.

VI. Étude de positionnement d'un doublet dans le cadre de la GMI – Modélisation hydrogéologique

Lors du dimensionnement de puits géothermiques, les paramètres limitants sont la température du fluide en réinjection, et le débit de pompage. En effet, l'impact du doublet géothermique sur la température de l'eau de la nappe doit être inférieur à 4°C à 200m du projet, et le débit doit rester suffisamment faible pour limiter les pertes de charge dans le réseau et éviter le charriage de particules fines.

Une modélisation hydrogéologique va permettre de déterminer l'impact à long terme du système géothermique sur le sous-sol, afin de déceler en amont des potentiels conflits d'usage. Cette approche pourra anticiper les phénomènes de « recyclage thermique », à savoir la circulation de l'eau réchauffée injectée dans la nappe vers le puits de pompage. Limiter cet effet est essentiel pour assurer le bon fonctionnement à long terme de la pompe à chaleur.

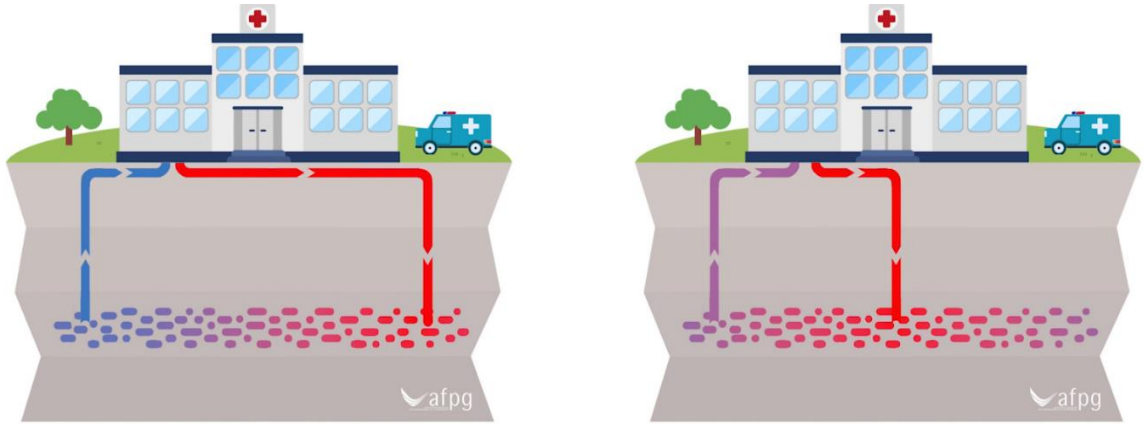


Figure 13 : Dimensionnement d'un doublet géothermique sans (gauche) et avec recyclage thermique

A. Cadre réglementaire de la Géothermie de Minime Importance (GMI)

La Géothermie de Minime Importance constitue un statut particulier qui, sous réserve de certaines conditions, permet de s'affranchir de l'obtention d'un permis d'exploitation (article L. 112-1 du code minier), démarche souvent longue et fastidieuse. Un projet de doublet géothermique est éligible à ce régime si :

- La puissance totale échangée avec le sous-sol ne dépasse pas 500kW
- Les puits ne dépassent pas une profondeur de 200m
- L'eau est pompée est à une température inférieure à 25°C
- Le débit de pompage est inférieur à 80m³/h

- Le projet ne se situe pas en « zone rouge »
- La perturbation de la température du terrain ne dépasse pas 4°C à 200m de distance

A ce titre, le projet devra s'accompagner d'une télédéclaration sur le site https://geothermie.developpement-durable.gouv.fr/ (article 3 décret n°78-498 du code minier). Dans le cas d'un projet se situant en « zone orange » (voir chapitre V.), cette télédéclaration doit s'accompagner d'un avis d'expert géologue attestant de l'absence de risque d'une installation géothermique à cet endroit.



Figure 14 : Carte de zonation de la GMI sur les échangeurs géothermiques ouverts (nappe) entre 0m et 100m de profondeur

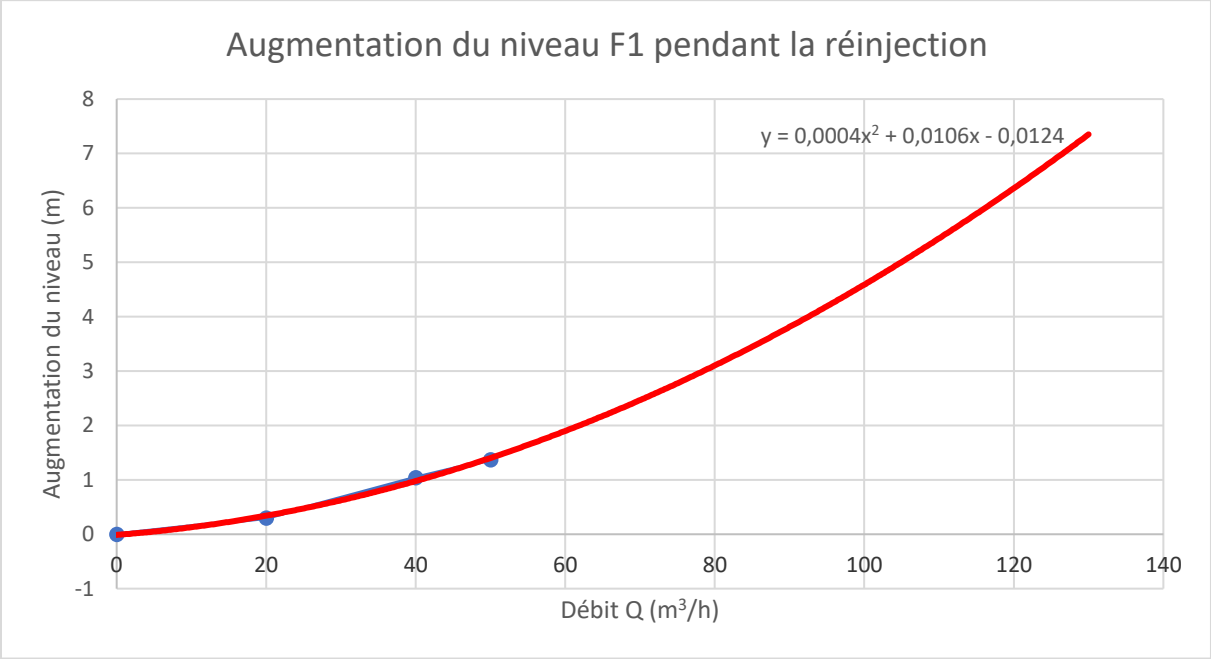
Conclusion partielle : Le site se situe en « zone » verte. Une simple télédéclaration sera suffisante. Cependant, lors du passage de la DREAL sur le site, cette dernière nous a confié que la zone sur laquelle se trouve l'usine Stellantis passera en zone orange. Un avis d'expert est recommandé lorsque les critères de la classification en zone orange seront connus.

A. Transformation du F1 en puits injecteur

Un des objectifs principaux de ce projet est la transformation du forage F1 en puits d'injection du doublet géothermique (couple F3-F1).

Deux aspects devront être étudiés afin de vérifier la capacité d'injection dans le F1, que ce soit pour un débit de 79m³/h l'augmentation du niveau dynamique et la vitesse de circulation de l'eau au niveau des crépines.

Concernant le niveau dynamique durant l'injection, les essais réalisés au cours de la mission en juillet 2023 ont permis de tracer le graphique ci-dessous représentant l'augmentation du niveau dans un puits en fonction du débit injecté dans ce dernier.



L'équation de la courbe de tendance ci-dessus permet de déterminer une augmentation de 3.48 mètres du niveau par rapport au niveau statique pour un débit d'injection de 79m³/h. Pour rappel, le niveau statique de F1 est à -21.59, cette augmentation de 3.48 mètres est donc acceptable et amènerait le niveau d'eau dans le puits à -18.11 mètres.

Concernant la vitesse de circulation de l'eau dans les crépines, un ensemble de formule permettent de la calculer :

- Il faut tout d'abord connaître le **taux d'ouverture**, ici ce taux est estimé à **21.8%**
- Il faut ensuite calculer la surface d'échange à l'aide de la formule suivante :

$$Surface\ d'échange = \emptyset ext * \pi * long.totale\ crépines * ouverture$$

Avec : $\emptyset ext = 0{,}325m$; longueur totale crépines = 24m ; ouverture = 0,22
Dans notre cas, la **surface d'échange est de 5,4m²**.

- Enfin, la vitesse de circulation de l'eau dans les crépines peut être déterminée grâce à la formule ci-dessous :

$$Vitesse\ d'entrée = Débit/Surface\ d'échange$$

Pour un débit de 79m³/h, la vitesse est de 4,1*10⁻³m/s.

Il est recommandé que la vitesse ne dépasse pas les 30*10⁻³m/s. Le critère est respecté.

L'ensemble des résultats recueillis sur le terrain et calculés se veulent rassurants quant à l'utilisation de F1 comme puits d'injection. En revanche, ces résultats ne se basent que sur des prédictions analytiques et ne constituent en aucun cas une garantie du bon fonctionnement du puits en tant qu'injecteur. Il est préconisé de réaliser des tests d'injection au futur débit d'exploitation afin de s'assurer de la pérennité de l'installation.

B. Position du puits de pompage

Conformément aux contraintes d'accessibilité par les machines, foncières, réglementaires et hydrogéologiques, le forage sera disposé comme suit relativement au F1 et au F2 (voir figure ci-dessous). Après avoir étudié l'impact du pompage de F2 sur F3 et inversement, il s'est avéré que ces puits devaient être au moins à 130 mètres l'un de l'autre (cette distance d'éloignement entrainera le dénoiement partiel des crépines de F2 sans pour autant impacter le débit de production du puits F2). Cette contrainte ajoutée au fait que le puits de pompage doit se trouver en amont hydraulique pour minimiser les risques de recyclage thermique nous a amené à repositionner F3 comme sur la figure ci-dessous.

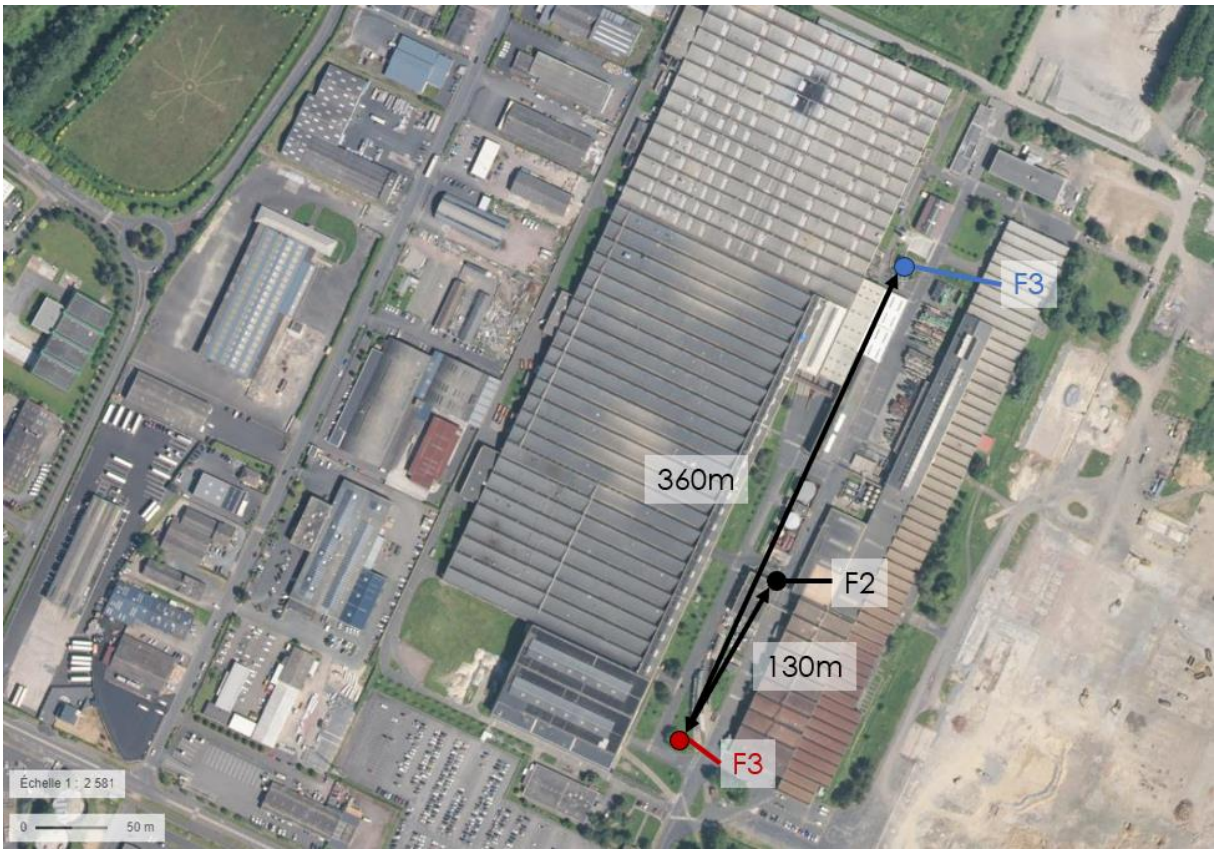


Figure 15 : Position du puits de pompage (en rouge) et de réinjection (en bleu) espacés de 360 mètres

C. Outils mis en œuvre et limites de la modélisation

L'aquifère exploité par le doublet géothermique est celui des calcaires du Bathonien. L'incidence de la mise en service de ce doublet sur la piézométrie et la température de l'aquifère a été quantifiée au moyen d'un modèle hydrodynamique.

Le logiciel FEFLOW, développé par DHI et adapté à la modélisation des écoulements souterrains en milieu poreux, sera utilisé pour construire ce modèle.

Il s'agit d'un modèle fonctionnant en « différences finies » où les paramètres sont spatialisés, donc définis sur un réseau de mailles.

Ce modèle ne peut pas rendre compte des hétérogénéités les plus fines et imprévisibles d'un aquifère.

D. Caractéristiques du modèle

1. Extension du modèle

Le modèle a été construit comme suit :

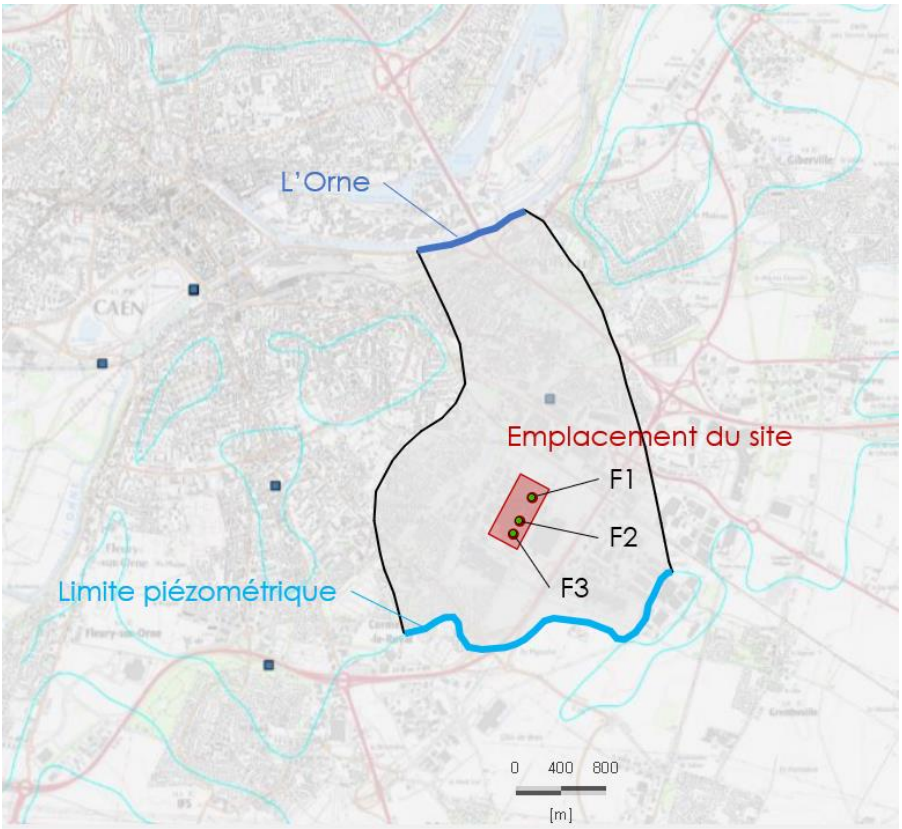


Figure 16 : Limite du modèle conceptuel

2. Topographie et conditions aux limites

La topographie du modèle est issue du RGE ALTI ® 1m de l'IGN (Institut Géographique National). La précision du RGE est inférieure à 30 cm sur la majeure partie du modèle.

L'Orne situé en limite nord correspond à une limite en potentiel imposé (condition de Dirichlet) dont la valeur est issue du RGE Alti ® 1m.

Des données piézométriques issues du SIGES Seine-Normandie ont été utilisées pour déterminer la limite sud du modèle, correspondant à une limite en potentiel imposé dont la charge est de +10mNGF.

Les limites Est et Ouest sont parallèles au sens d'écoulement selon les données du SIGES, on considère ici des limites à flux nul (condition de Neumann).

Les données géologiques de la BSS sont insuffisantes pour spatialiser la surface du mur de l'aquifère. Nous considérons ici qu'elle est uniforme et située à -30mNGF.

3. Recharge pluviale

La recharge de l'aquifère par les précipitations dépend majoritairement de deux facteurs : la pluie efficace et l'ETP (l'évapotranspiration potentielle).

Sur la période 2001-2020, la station météo de Caen-Carpiquet a déterminé des précipitations annuelles moyennes de 727mm, et une ETP annuelle moyenne de 773mm. En considérant que l'ETP est équivalente aux précipitations, la recharge pluviale du modèle est ici considérée nulle.

4. Champ de perméabilités

L'aquifère du Bathonien est discontinu, la circulation d'eau se fait préférentiellement au travers de fissures progressivement affectées par des phénomènes de dissolution du calcaire. Ces phénomènes affectent préférentiellement les vallées aux côteaux. Sachant cela, et au vu des pompages d'essai réalisés aux alentours dans ces calcaires, le modèle a été délimité en trois zones de perméabilité, en partant du principe que les calcaires à proximité de l'Orne étaient plus perméables car plus fissurés.

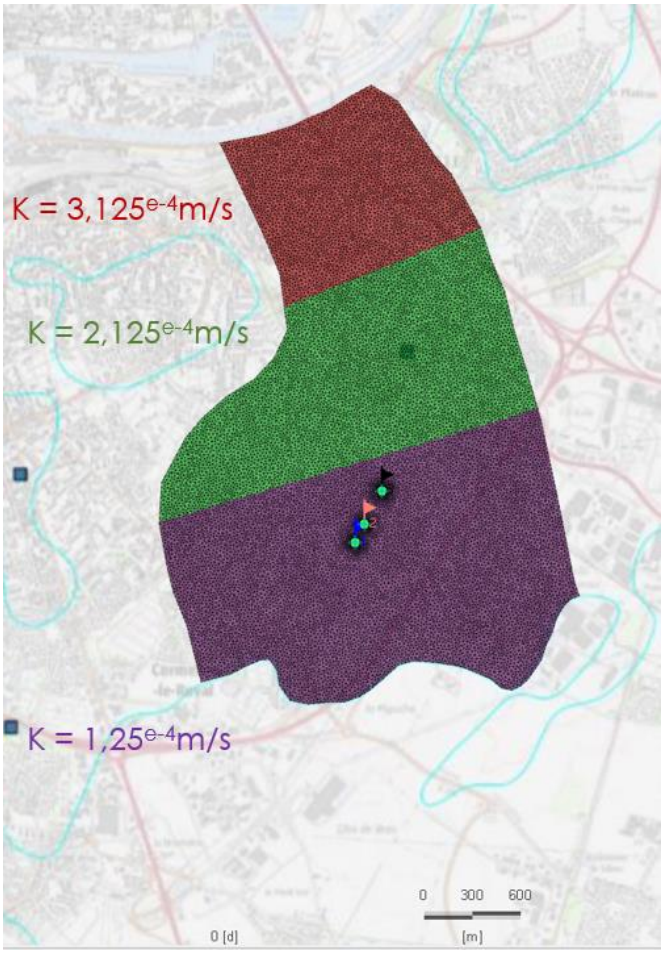


Figure 17 : Champ de perméabilités du modèle hydrodynamique

5. Propriétés thermiques du sous-sol

Au-delà de l'écoulement de la nappe, le modèle doit rendre compte du comportement thermique du milieu poreux face à une réinjection d'eau réchauffée ou refroidie. Pour ce faire, la modélisation se repose sur des paramètres thermiques déterminés dans la bibliographie (Pahud, 2002). Elle repose sur les caractéristiques du milieu et de l'aquifère en présence, résumées dans le tableau suivant :

Propriété	Valeur
Capacité thermique volumique du milieu (MJ/m³/K)	2,25
Capacité thermique volumique de l'eau (MJ/m³/K)	4,19
Conductivité thermique du milieu (W/m/K)	2,7
Conductivité thermique de l'eau (W/m/K)	0,6
Porosité du milieu (-)	0,10
Température initiale du milieu(°C)	16,8

6. Prélèvements des puits

Le modèle ne prend en compte que les prélèvements et la réinjection au sein du site de Stellantis. On considère un débit nominal pour les trois puits :

	F1	**F2**	**F3**
Débit (m³/h) ; Pompage / Injection	79 ; Injection	10 ; Pompage	79 ; Pompage

Le pompage sur F2 est constant sur toute l'année.

L'installation géothermique fonctionnera alternativement pour produire du chaud en hiver (chauffage de l'atelier et des bureaux) et du froid en été (refroidissement pour le process). D'après les besoins fournis par NALDEO, on considère ici que l'installation fonctionne sur des cycles de **1600h chaud / 3500h froid**, avec un différentiel de température entre la source et la réinjection de **+/- 5,4°C**, soit une **puissance échangée** avec le sous-sol de **499kW** pour le chauffage et le refroidissement.

E. Résultats de la modélisation

1. Impact des puits sur la piézométrie

L'écoulement global de la nappe reste inchangé du sud vers le nord, et est perturbé à proximité des puits. L'agencement des courbes piézométriques témoigne d'un recyclage hydraulique entre l'injection et le pompage :

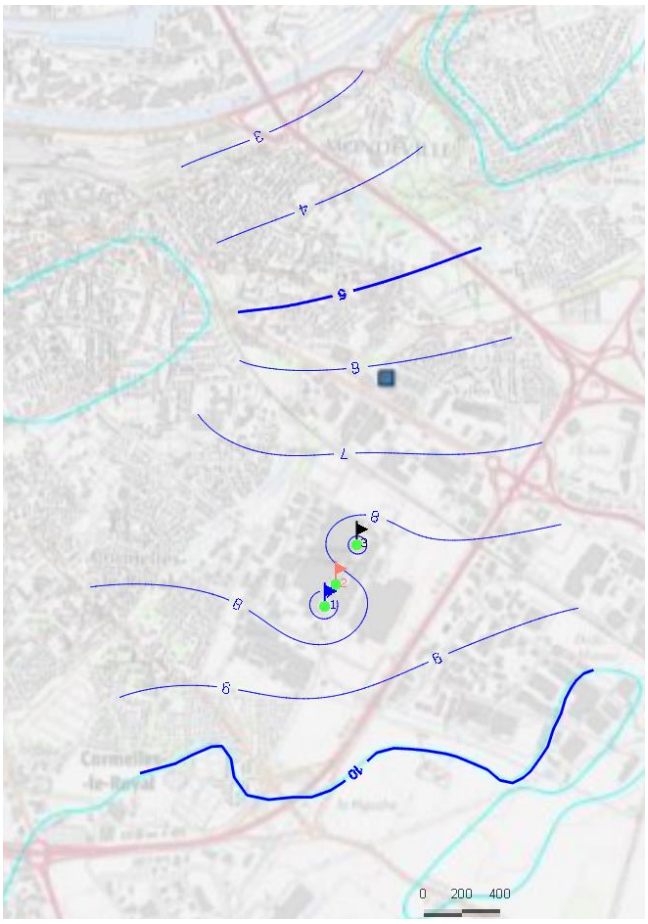


Figure 18 : Piézométrie du modèle en m NGF après 20 ans de fonctionnement du système

2. Panache thermique après 20 ans de fonctionnement

Après 20 ans de fonctionnement selon les besoins précédemment énoncés, le panache thermique reste de très faible extension, du fait de la compensation entre la réinjection de chaud et de froid à chaque cycle. Puisque le système est sollicité plus longtemps pour la production de froid que de chaud, le sous-sol a tendance à se réchauffer au cours du temps, et engendre la perturbation thermique suivante :

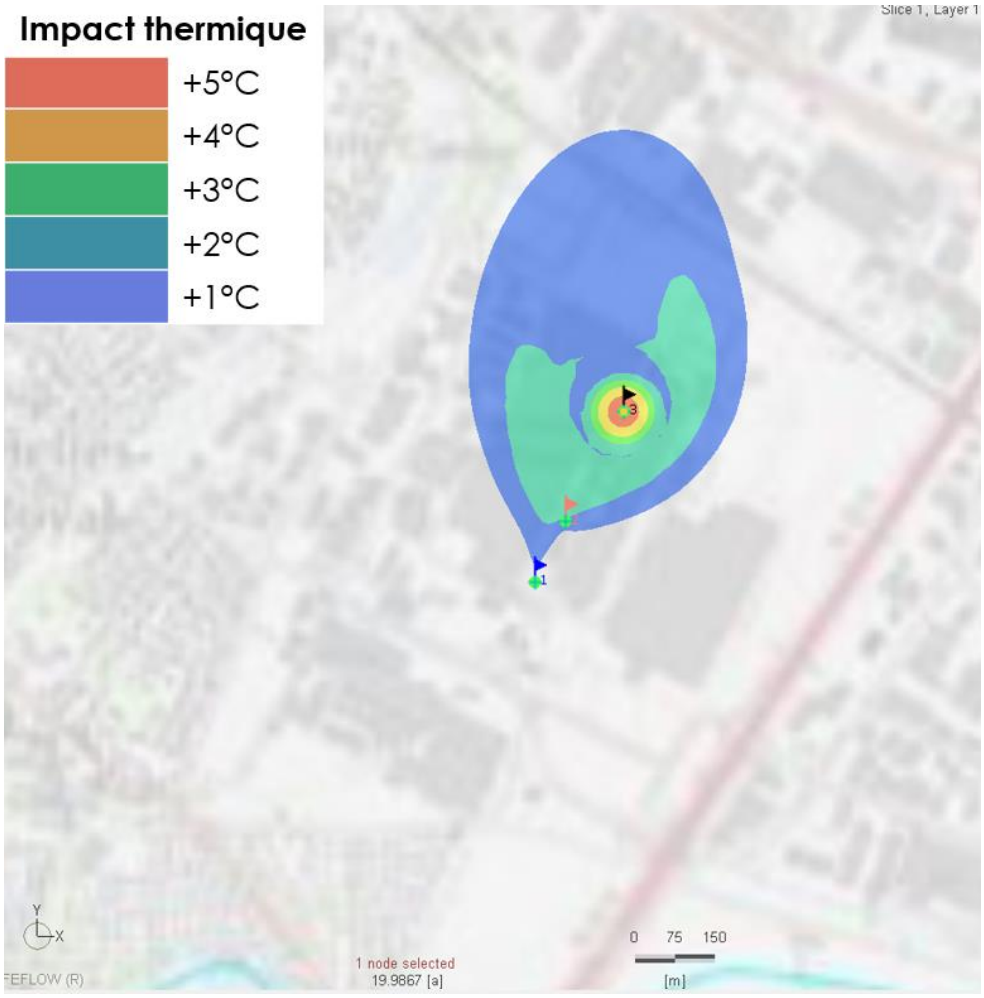


Figure 19 : Impact thermique théorique du doublet après 20 ans de fonctionnement

L'augmentation de la température au puits de pompage après 20 ans de fonctionnement est de l'ordre de 0.2°C, ce qui est acceptable.

Ces résultats sont valides sous réserve que les besoins thermiques du bâtiment réellement gérés par le doublet correspondent à la théorie et qu'il n'existe pas dans le sous-sol une circulation préférentielle de l'injection vers le pompage du fait d'une hétérogénéité imprévue.

F. Travaux de forage

Le forage ci-dessous est conçu pour exploiter 79m³/h :

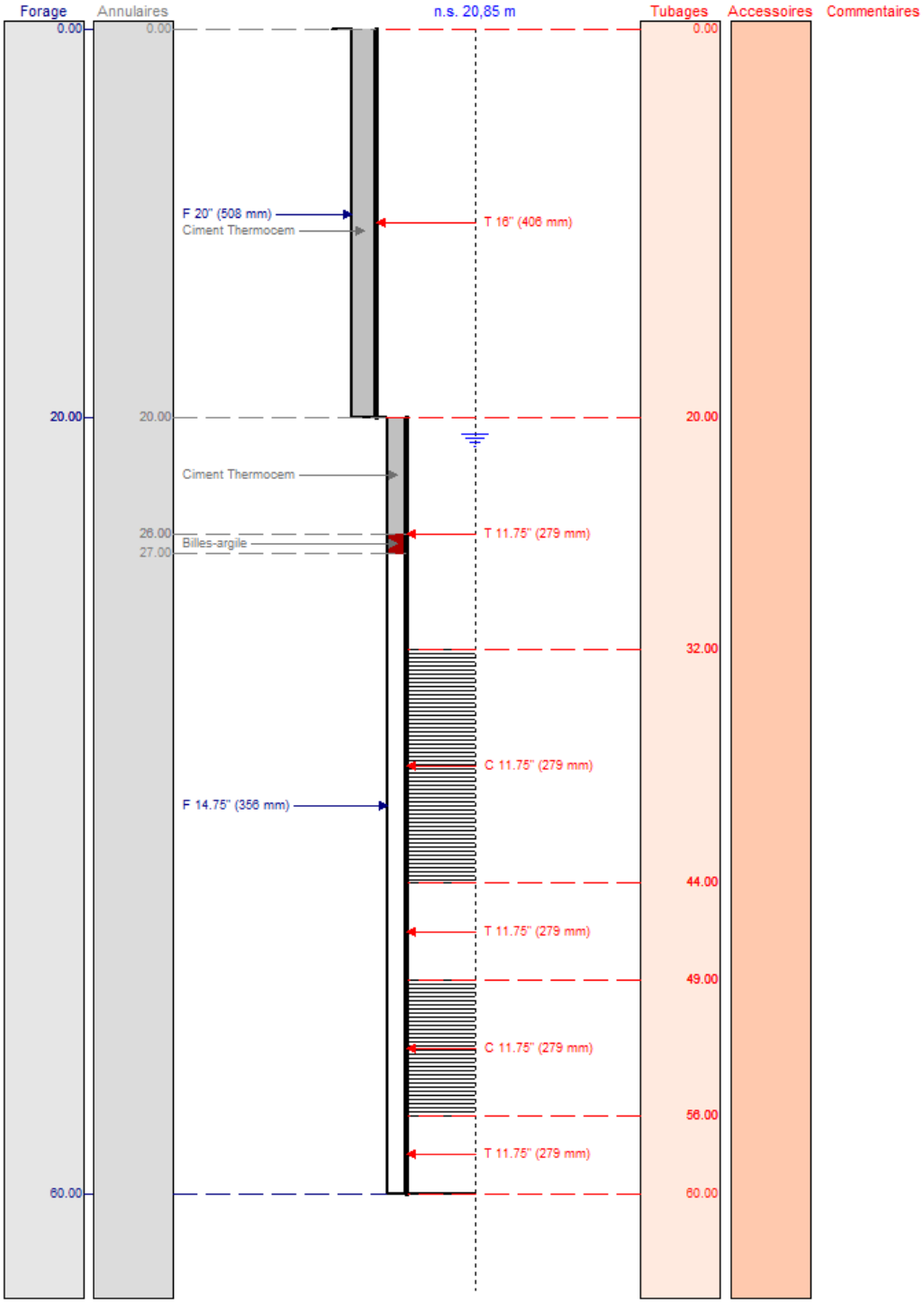


Figure 20 : Coupe technique de F3 (79m³/h)

Dans le forage ci-dessus, la pompe immergée sera positionnée non pas au-dessus mais au milieu des crépines en intercalant un tube plein de 5 mètres. Cette précaution doit être prise en raison de la NPSH (hauteur positive d'aspiration nette). La NPSH est une expression de la perte de charge qui se produit à l'intérieur de la première partie du corps de la pompe. Pour faire simple, chaque pompe a une valeur de NPSH en bar qui, une fois convertie en mètres, représente la hauteur d'eau sous laquelle la pompe doit se trouver. Ici, la valeur de la NPSH est de 0.74 bar ce qui représente 7.40 mètres.



Le forage sera d'une profondeur de 60m.

Nous recommandons de recourir à AQUAPAC, garantie proposée par l'ADEME permettant de couvrir le risque hydrogéologique.

En d'autres termes, AQUAPAC permet un remboursement partiel du forage si le débit de production est inférieur à celui escompté. ou si le débit injectable est inférieur au débit prévu.

Le coût est de 5% du coût complet du forage.

S'il est décidé de souscrire à l'AQUAPAC, alors le test de production du premier forage devra être réalisé avant de poursuivre les opérations.

Nous proposons le programme de travaux suivant :

1- Souscription AQUAPAC recherche
2- Forage du puits de production, équipement du puits sauf la pompe d'exhaure
3- Test du puits de production en rejetant les eaux dans F1 pour réaliser en même temps les tests d'injection
4- Test de production longue durée et test d'injection simultanément
5- Installation de la pompe de production
6- Mise en production

7- Souscription garantie AQUAPAC pérennité

Nous proposons d'assister à l'intégralité des travaux de forage et des tests. Nous nous chargerons également de l'interprétation des tests de production et d'injection.

La pompe de production sera équipée d'un variateur de vitesse pour asservir le débit de pompage au besoin de la PAC.

G. Programme de test

Le programme des essais sera le suivant :

- Pompage par paliers de débits (au moins quatre) pendant une durée minimale d'une heure.
- Pompage longue durée à un débit de 79m³/h, pendant une durée minimale de 24h
- Suivi de la remontée de la nappe, pendant 8h

H. Pompe d'exhaure

Pour la pompe d'exhaure, nous avons prévu une pompe pour :

Débit	79 m³/h
Hauteur de relevage estimée	6 bars
Pour chambre de pompage diamètre	246 mm
Matériaux	Inox

La pompe choisie a les caractéristiques suivantes :

Marque	GRUNDFOS
Référence	SP 215 3A
Diamètre moteur	8'' (203,2 mm)
Puissance	55 kW
Poids brut	90 kg

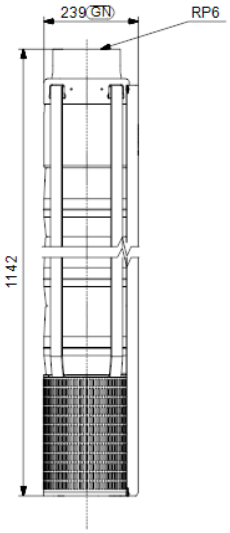


Figure 21 : Schéma de la pompe SP 215 3A

I. Equipements de puits

On entend par équipement de puits :

- Colonne d'exhaure
- Tête de puits de production
- Eléments de raccordement à la conduite côté puits de production
- Tête de puits d'injection
- Eléments de raccordement à la conduite côté puits d'injection





J. Réadaptation de F2

Comme mentionné précédemment, le débit d'exploitation de F2 devra être réduit en passant de 40m³/h à 10m³/h afin de minimiser l'impact des puits entre eux. Cette réduction de débit entraînera un temps d'exploitation de F2 plus long (il faudra quatre fois plus de temps pour remplir les cuves alimentant le process). Plusieurs méthodes existent afin de diminuer le débit d'exploitation. 3 d'entre elles seront évoquées :

- Remplacement de la pompe se trouvant dans F2 par une pompe dont le débit d'exploitation est de 10m³/h ;
- Installer un limiteur de débit ;
- Contrôler la vitesse de rotation de la pompe d'exhaure par un variateur

Le remplacement de la pompe pourrait être réalisé lors de l'intervention de l'entreprise de forage. Une pompe immergée pouvant extraire 10m³/h représente un investissement d'environ 3.000 euros HT auquel s'ajoute le coût lié au fonctionnement d'environ 1.000 euros par an.

La seconde option est d'installer un limiteur de débit (de type wafer). Ces limiteurs de débit se montent entre deux brides et permettent de limiter mécaniquement le débit en restreignant la circulation du fluide (voir photo ci-dessous) :



Figure 22: Exemple de réducteur de débit

La troisième option consiste à réguler le débit de la pompe à l'aide d'un variateur.

Dans tous les cas, l'installation d'un débitmètre doit être envisagée afin de contrôler le débit d'exploitation. Un débitmètre électromagnétique est préconisé pour cette gamme de débit importants.

K. VRD

L'estimation des travaux de raccordement entre les puits et le local technique sera réalisée par NALDEO.

VII. Contexte réglementaire

A. SDAGE

Le site d'étude se situe sous l'emprise du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Seine Normandie est défini comme suit sur le site de l'Agence de l'Eau Seine Normandie :

« Le comité de bassin, **qui rassemble des représentants des usagers, des associations, des collectivités et de l'État, a adopté le SDAGE pour la période 2022-2027, le 23 mars 2022.**

L'arrêté portant approbation du SDAGE 2022-2027 a été publié le 6 avril 2022 au journal officiel.

Après plus de deux ans de travaux participatifs et de concertation, le comité de bassin a adopté **le SDAGE** et donné un avis favorable à son **programme de mesures**. Le SDAGE planifie la politique de l'eau sur une période de 6 ans, dans l'objectif d'améliorer la gestion de l'eau sur le bassin, tandis que le programme de mesures identifie les actions à mettre en œuvre localement par les acteurs de l'eau pour atteindre les objectifs fixés par le SDAGE.

Retrouver des eaux de qualité, économiser la ressource et s'adapter aux changements climatiques est l'affaire de tous : collectivités, professionnels, associations, particuliers ... chacun peut y participer. »

A. SAGE

Le projet est concerné par le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) Orne aval et Seulles. Cependant, il n'est fait mention nulle part de géothermie.

B. Code Civil

Du point de vue du Code Civil (Article 2270), le constructeur d'un ouvrage est responsable des dommages éventuels causés par l'ouvrage. Cette responsabilité est engagée pendant une période de 10 ans (garantie décennale). Ainsi, Le Maître d'Ouvrage devra s'assurer que l'entreprise de forage est bien titulaire d'une police « responsabilité civile décennale ».

C. Zones naturelles

Plusieurs Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type I et II, ainsi que des zones Natura2000 se situent à proximité du projet. Cependant,

le site ne se situe sur l'emprise d'aucune d'elle, aucune disposition particulière n'est à prendre.



Figure 23 : Zones naturelles à proximité du site

D. Forages à proximité du site

La BSS recense 84 forages à deux kilomètres du site. Parmi ces derniers, 3 forages exploitent l'eau pour l'AEP, 6 pour le chauffage, 1 pour usage agricole, 2 pour usage domestique, 13 pour usage industriel, et enfin14 sont des piézomètres d'observation. Par ailleurs, le périmètre de protection rapprochée de captage d'eau potable le plus proche se situe à plus de 1500 mètres du site. Le projet n'aura aucune incidence notable sur ce dernier.

bss_id	lieu_dit	nature	prof_attein	etat_ouvrage	utilisation	prof_eau_s
BSS000JBJE	MONDEVILLE	FORAGE	23	ACCES,EXPLOITE,MESURE,POMPE,PRELEV,TUBE-METAL.	AEP,EAU-SERVICE-PUBLIC.	2.4
BSS000JBJF	MONDEVILLE	FORAGE	24	ACCES,EXPLOITE,MESURE,POMPE,PRELEV,TUBE-METAL.	AEP,EAU-SERVICE-PUBLIC.	2.31
BSS000JBJL	MONDEVILLE	SOURCE	4.5	ACCES,AMENAGE,EXPLOITE,MESURE,POMPE,PONCTUELLE,PRELEV.	AEP,EAU-SERVICE-PUBLIC.	1.32
BSS000JCCD	61 avenue des Cotis	FORAGE	65		CHAUFFAGE.	
BSS000JCDR	9 Clos de Barqueville	FORAGE	55		CHAUFFAGE.	
BSS003ARXM	Rue du vast Parcellaire : ck 192	FORAGE	28	ACCES,CREPINE,TUBE-PLASTIQUE.	CHAUFFAGE.	1
BSS003ARXQ	Rue du vast Parcellaire : ck 192	FORAGE	28	ACCES,CREPINE,TUBE-PLASTIQUE.	CHAUFFAGE.	1
BSS003ARXU	Rue du vast Parcellaire : ck 192	FORAGE	28	ACCES,CREPINE,TUBE-PLASTIQUE.	CHAUFFAGE.	1
BSS003ARXY	Rue du vast Parcellaire : ck 192	FORAGE	27	ACCES,CREPINE,TUBE-PLASTIQUE.	CHAUFFAGE.	1
BSS000JBYX	19, LIEU-DIT DU VAST	FORAGE	31	EXPLOITE.	EAU-AGRICOLE.	19
BSS000JBGS	SERVICE DE SANTE, 92 RUE EMILE ZOLA - CENTRE PHARMACEUTIQUE	FORAGE	12	ACCES,EXPLOITE,MESURE,POMPE,PRELEV,TUBE-METAL.	EAU-DOMESTIQUE	2.18
BSS000JBLT	RUE DU LAVOIR - VILLA LES TILLEULS	PUITS	21.65	ACCES,MESURE,PRELEV.	EAU-INDIVIDUELLE.	17.25
BSS000JBGW	USINE CITROEN DE CORMELLES LE ROYAL	FORAGE	64.25	ACCES,EXPLOITE,MESURE,POMPE,PRELEV,TUBE-METAL.	EAU-INDUSTRIELLE.	22.77
BSS000JBGX	USINE CITROEN	FORAGE	95	ACCES,EXPLOITE,MESURE,POMPE,PRELEV,TUBE-METAL.	EAU-INDUSTRIELLE.	22.39
BSS000JBJA	ZONE INDUSTRIELLE, UFRAME- CHAMBRE DE COMMERCE DE CAEN	FORAGE	60	ACCES,MESURE,NON-EXPLOITE,POMPE,PRELEV,TUBE-METAL.	EAU-INDUSTRIELLE.	25.4
BSS000JBJC	STE CHAMPOULAIN, ROUTE DE PARIS	FORAGE	26	ACCES,MESURE,NON-EXPLOITE,PRELEV,TUBE-METAL.	EAU-INDUSTRIELLE.	16.17
BSS000JBJD	CHAMPOULAIN-ENTREPOTS ROUTE DE PARIS RN 13 F2	FORAGE	45	ACCES,MESURE,NON-EXPLOITE,POMPE,PRELEV,SALE,TUBE-METAL.	EAU-INDUSTRIELLE.	10.3
BSS000JBQY	USINE MOULINEX, ZONE INDUSTRIELLE	FORAGE	85.5	ACCES,EXPLOITE,MESURE,POMPE,PRELEV,TUBE-METAL.	EAU-INDUSTRIELLE.	22.38
BSS000JBWF	CENTRE COMMERCIAL MONDEVILLE 2	FORAGE	58	ACCES,TUBE-PLASTIQUE,PRELEV.	EAU-INDUSTRIELLE.	13.7
BSS000JBYW	ZAC OBJECTIF IFS SUD	FORAGE	55	EXPLOITE.	EAU-INDUSTRIELLE.	28
BSS000JBYY	VOIE NOUVELLE - PARCELLES BI 294, 295, 296, 297	FORAGE	44	EXPLOITE,ACCES,MESURE,PRELEV.	EAU-INDUSTRIELLE.	17
BSS000JCAQ	RUE DES FRÈRES LUMIÈRE	FORAGE	35	EXPLOITE,ACCES,MESURE,PRELEV.	EAU-INDUSTRIELLE.	18
BSS000JCDV	Z.A. DE LA VALLEE BARREY	FORAGE	52	CREPINE,EXPLOITE,ACCES,MESURE,PRELEV.	EAU-INDUSTRIELLE.	
BSS002PSCF	26 Rue des frères Chappe	FORAGE	50	CREPINE.	EAU-INDUSTRIELLE.	9.6
BSS000JBJB	UNION FRANCAISE D ENGRAIS ET DE PRODUITS CHIMIQUES, CF AZOTE	FORAGE	35.8	ACCES,MESURE,NON-EXPLOITE,POMPE,PRELEV,TUBE-METAL.	EAU-INDUSTRIELLE.	13.42
BSS000JBYL	CHAMP FLEURY	FORAGE	30	ACCES,MESURE,PRELEV,TUBE-METAL,TUBE-PLASTIQUE,CREPINE,EXPLOITE.	PIEZOMETRE.	19.07
BSS000JBYM	CENTRE ROUTIER	FORAGE	20	ACCES,MESURE,PRELEV,TUBE-METAL,TUBE-PLASTIQUE,CREPINE,EXPLOITE.	PIEZOMETRE.	
BSS000JCAJ	2 RUE DE L INDUSTRIE - ZONE INDUSTRIELLE	FORAGE	24.5	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	
BSS000JCAK	2 RUE DE L INDUSTRIE-ZONE INDUSTRIELLE	FORAGE	36.5	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	
BSS000JCBB	A L EST D UNE VOIE FERRÉE	FORAGE	29	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	21.7
BSS000JCBC	A L EST D UNE VOIE FERRÉE	FORAGE	28	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	20.89
BSS000JCBD	A L EST D UNE VOIE FERRÉE	FORAGE	28	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	
BSS000JCBE	A L EST D UNE VOIE FERRÉE	FORAGE	29	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	
BSS000JCBM	A L EST DE LA VOIE FERRÉE	FORAGE	28	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	5.49
BSS000JCBN	A L EST DE LA VOIE FERRÉE	FORAGE	28	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	5.31
BSS000JCBP	A L EST DE LA VOIE FERRÉE	FORAGE	28	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	5.9
BSS000JCBQ	A L EST DE LA VOIE FERRÉE	FORAGE	28	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	6.34
BSS000JCBR	A L EST DE LA VOIE FERRÉE	FORAGE	28	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	9.66
BSS000JCBS	A L EST DE LA VOIE FERRÉE	FORAGE	28	ACCES,PRELEV,CREPINE.	PIEZOMETRE.	8.16
BSS000JBLS		FORAGE				
BSS000JCCC	61 avenue des Cotis	FORAGE	36	CREPINE,EXPLOITE,ACCES,MESURE,PRELEV.		
BSS003KSZE		FORAGE	27	MASSIF-GRAVIER,TUBE-PLASTIQUE,CREPINE.		24
BSS003KSZI		FORAGE	25	MASSIF-GRAVIER,TUBE-PLASTIQUE,CREPINE.		21
BSS000JBEQ	SERVICE DE SANTE - FORAGE M2 DE L ETUDE DES P. & C.	FORAGE	24			
BSS000JBES	SERVICE DE SANTE - P2 POUR ETUDE DES PONTS & CHAUSSEES	FORAGE	4.2			
BSS000JBET	PROLONGEMENT RUE DU PROFESSEUR ROUX TUBE PIEZOMETRIQUE P3	FORAGE	4.6			
BSS000JBEU	ANCIENNE MAIRIE, DISPENSAIRE COMMUNAL P4 POUR ETUDE DES P. & C.	FORAGE	4			
BSS000JBEV	SERVICE SANTE TUBE PIEZOMETRIQUE P5	FORAGE	10			
BSS000JBEW		FORAGE				
BSS000JBEY	RUE BRIERE P9 POUR ETUDE DES PONTS & CHAUSSEES	FORAGE	3.2			
BSS000JBEZ		FORAGE	3.84			1.2
BSS000JBFA		FORAGE				
BSS000JBFC	SERVICE DE SANTE - TUBE PIEZOMETRIQUE P. 20	FORAGE	4			
BSS000JBFW	SERVICE DE SANTE, RUE EMILE ZOLA TUBE PIEZOMETRIQUE X9	FORAGE	6			
BSS000JBGA	SERVICE DE SANTE, RUE EMILE ZOLA TUBE PIEZOMETRIQUE X7	FORAGE				
BSS000JBGB	SERVICE DE SANTE, RUE EMILE ZOLA X8 POUR ETUDE DES P. & C.	FORAGE				
BSS000JBGH	RUE BRIERE - TUBE PIEZOMETRIQUE P. 12 ETUDE P. & C.	FORAGE	4			
BSS000JBGJ	FORAGE SITUE AU POSTE SHELL	FORAGE	19.9			
BSS000JBJG	SERVICE DE SANTE	FORAGE	22	ACCES,MESURE,NON-EXPLOITE,PRELEV,TUBE-METAL.		7.62
BSS000JBJJ	CHEZ M.BISSON 97 RUE D AUGE BOUCHERIE - FORAGE BISSON EST	FORAGE	22	ACCES,MESURE,NON-EXPLOITE,PRELEV,TUBE-METAL.		4.55
BSS000JBUV	ANCIENNE CARRIERE COFAZ RN815	FORAGE	25	ACCES,MESURE,NON-EXPLOITE,PRELEV,TUBE-PLASTIQUE.		5.2
BSS000JBCG	FORAGE ANGLAIS VAUCELLES	FORAGE	73.15			
BSS000JBFE	FORAGE DES COOPERATEURS DE NORMANDIE	FORAGE	18.05			
BSS000JBFG	PUITS SITUE A LA FERME DE LA VALLEE	PUITS	12			
BSS000JBFH	PUITS P.N. 4 CHEMIN DE LA VALLEE DE MONDEVILLE	PUITS	13.4			
BSS000JBGE	PUITS ANCIENNE FERME GUERIN, RTE DE PARIS	PUITS	17.15			
BSS000JBGM	PUITS SITUE CHEZ M. GLADILINE, ROUTE DE PARIS	PUITS	14			
BSS000JBGN	PUITS CHEZ M. SANVELIAN, RTE DE PARIS	PUITS	16			
BSS000JBGP	PUITS CHEZ M. BOURHIS, ROUTE DE PARIS	PUITS	14			
BSS000JBGY	PUITS 58, ROUTE DE FALAISE	PUITS	24.55			
BSS000JBLU	PUITS ROUTE DE FALAISE, DANS UN HERBAGE	PUITS	27.25			
BSS004GJVT	55 Rue Charles de Coulomb	PUITS	29	ACCES,CREPINE,EXPLOITE,TUBE-PLASTIQUE.		
BSS000JBDU	PUITS AU 144 RUE EMILE ZOLA	PUITS	10.2			
BSS000JBDV	PUITS COUR DE LA DIME 97-95 RUE E. ZOLA	PUITS	7.25			
BSS000JBFD	PUITS DANS LE POTAGER DU SERVICE DE SANTE	PUITS	10.7			
BSS000JBFJ	PUITS AU 137 RUE EMILE ZOLA, PUITS MITOYEN	PUITS	5.9			
BSS000JBFK	PUITS SITUE P.N. 3 RUE DE LA CAVEE LIGNE TROARN DOZULE	PUITS	15.3			
BSS000JBFM	PUITS 1, RUE VARIN VIEUX MONDEVILLE	PUITS	4.6			
BSS000JBFP	PUITS 7, CHEMIN DU VAST	PUITS	2.7			
BSS000JBFS		PUITS				
BSS000JBGG	PUITS 100, RUE DES ROCHES PROLONGEE	PUITS	2.6			
BSS000JBGK	PUITS 48, RUE BRIERE CHEZ M. PELLERIN	PUITS	1.25			
BSS000JBFF	PUITS AU 41 RTE DE PARIS, RESTAURANT CHEZ MOREL	PUITS	22			
BSS000JBFN	PUITS 27, RUE PIERRE CURIE, PRESBYTERE	PUITS	4.15			

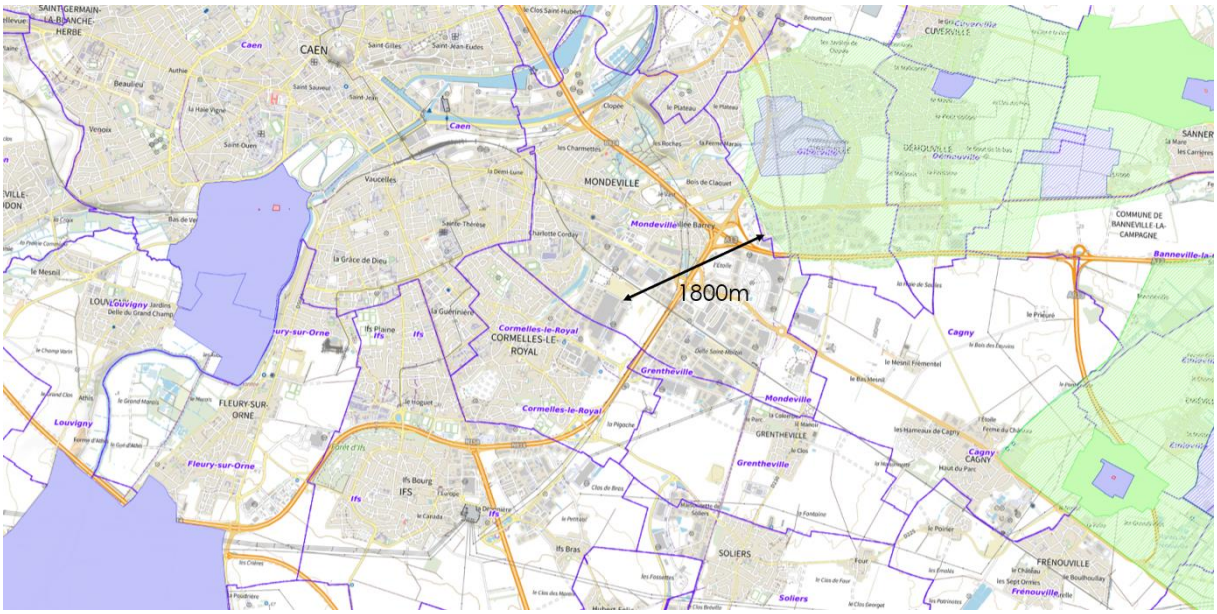


Figure 24 : *Périmètres de protection de captages d'eau potable à proximité du site (ARS)avec en bleu les périmètres de protection rapproché, en vert les périmètres de protection éloignés et en rouge les périmètres de protection immédiats*

E. Plan de prévention des risques

L'usine Stellantis ne fait pas l'objet d'un plan de prévention des risques d'inondation (PPRi), et le site n'est pas sujet aux remontées de nappe, aucune disposition particulière n'est à prendre.

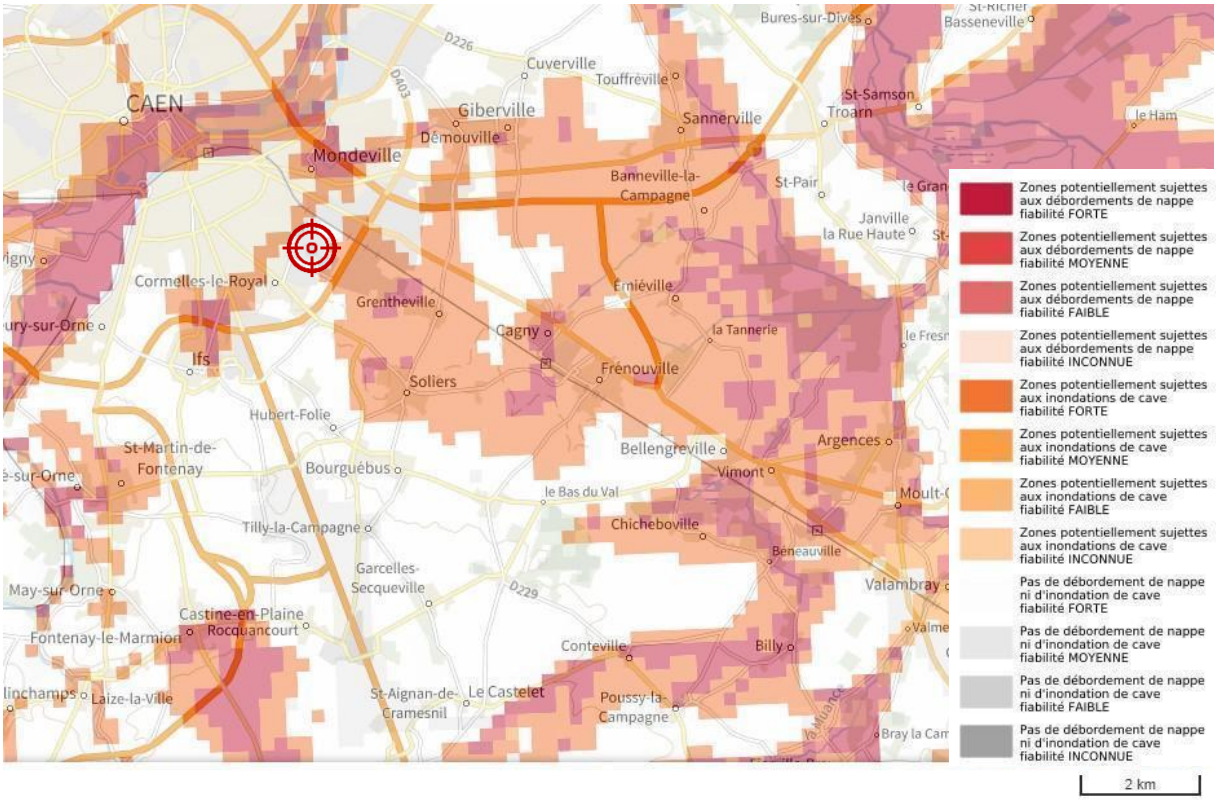


Figure 25 : Zonation de l'aléa remontées de nappe (Géorisques)

F. BASOL

Trois sites pollués ou potentiellement pollués appelant à une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif sont recensés sur la base de données BASOL à proximité du site. L'un d'eux est même référencé comme étant l'usine « Peugeot Citroën Automobile ». Cependant, l'emprise des sites industriels (voir figure ci-dessous) se situe à plus de 35 mètres de l'usine Stellantis (Arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance). Aucune disposition particulière n'est à prendre.

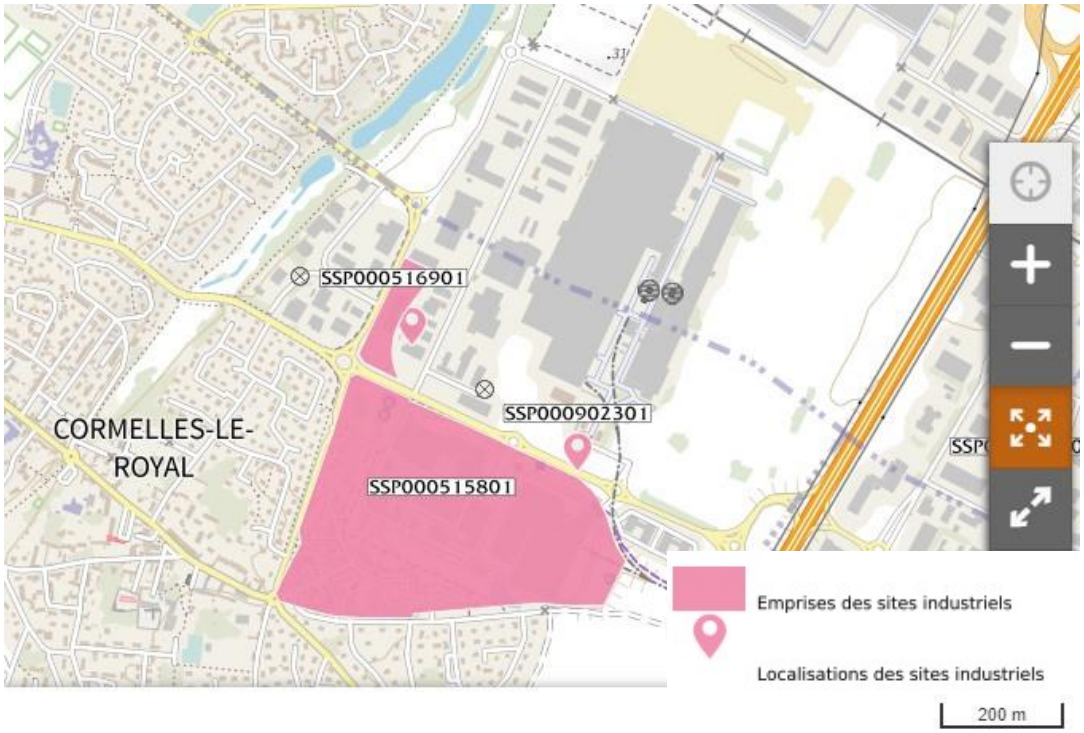


Figure 26 : Sites pollués ou potentiellement pollués appelant à une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif à proximité du site

G. ICPE

Le site de Stellantis est une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), cependant il ne relève pas de la rubrique du stockage de déchets (rubrique 2760) ni d'aucune autre rubrique pouvant s'avérer bloquante vis-à-vis de la législation (rubrique 2101, 2102, 2110, 2111, 2112, 2113, 2120). Aucune disposition particulière n'est à prendre.

Par ailleurs, 3 autres ICPE se situent à proximité du site mais toujours à plus de 35 mètres. Aucune disposition particulière n'est à prendre.

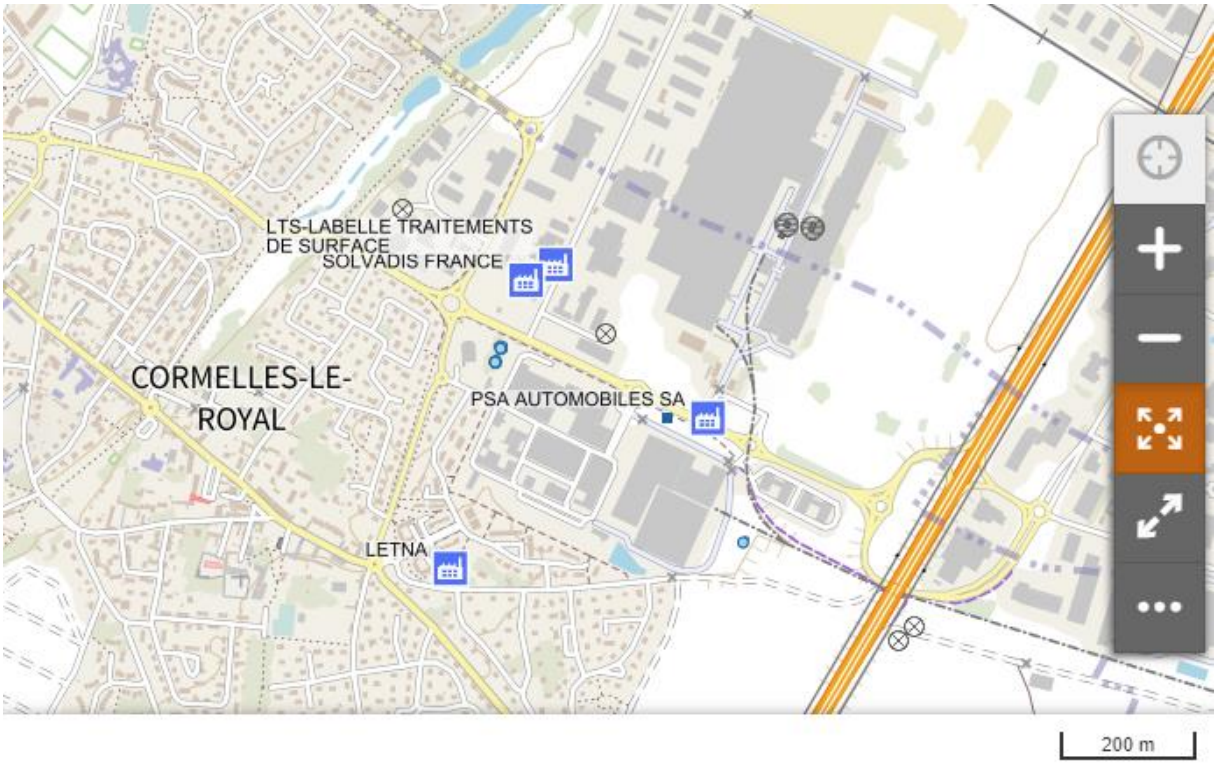


Figure 27 : ICPE à proximité du site

H. Transport de matières dangereuses

Le projet se situe à 1.6 km d'une canalisation de transport de matières dangereuses (gaz, hydrocarbures, produits chimiques), aucune disposition particulière n'est à prendre.

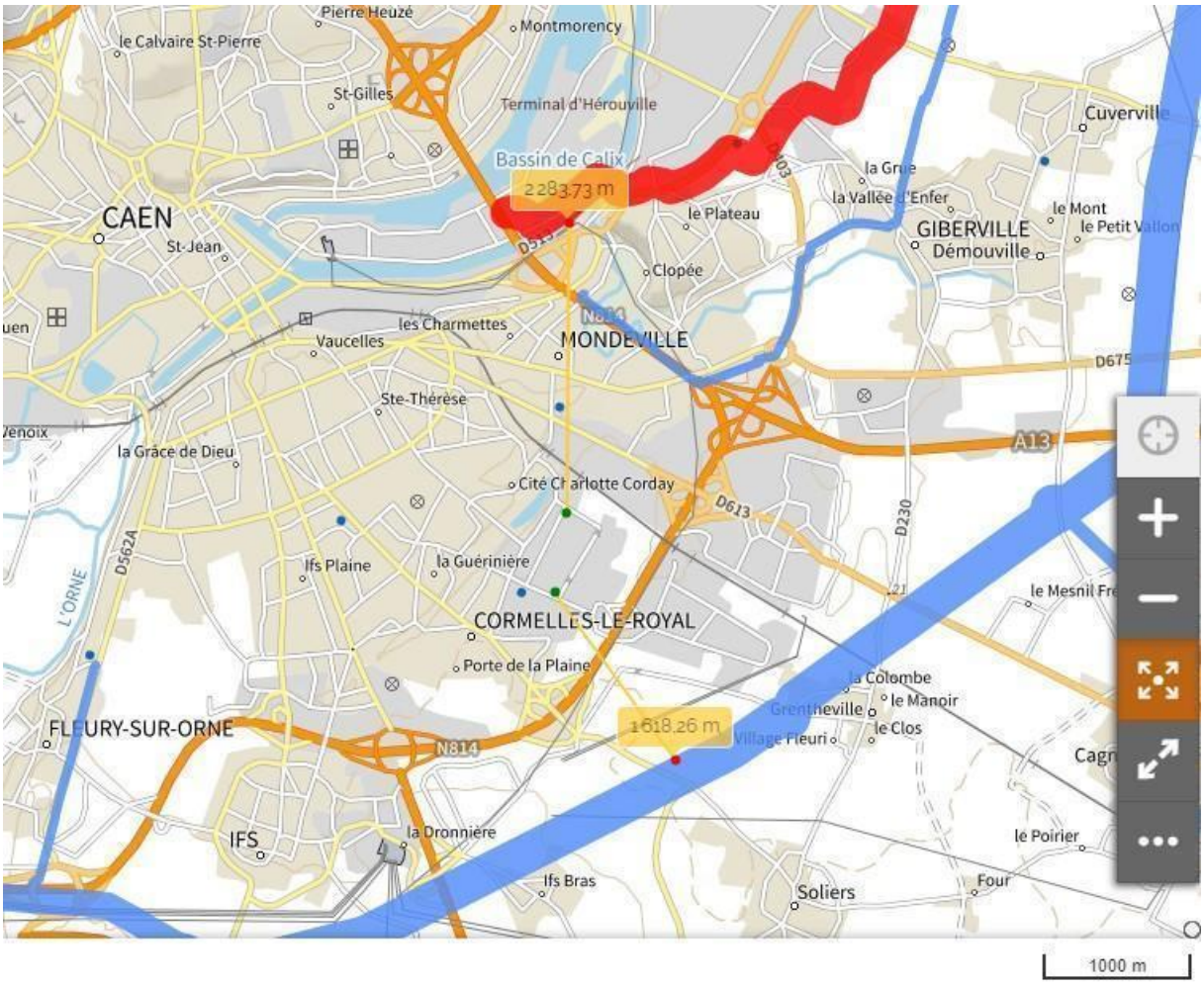


Figure 28 : Canalisations de transport de matières dangereuses à proximité du site

I. Code Civil

Du point de vue du Code Civil (Article 2270), le constructeur d'un ouvrage est responsable des dommages éventuels causés par l'ouvrage. Cette responsabilité est engagée pendant une période de 10 ans (garantie décennale). Ainsi, Le Maître d'Ouvrage devra s'assurer que l'entreprise de forage est bien titulaire d'une police « responsabilité civile décennale ».

J. Eaux Usées

Afin d'éviter la contamination des nappes aquifères par des eaux polluées de surface, les ouvrages devront se situer à plus de 35m de toute conduite d'assainissement collectif ou non collectif (fig. 16). Cependant si ces réseaux ont été étanchéifiés comme c'est le cas ici, cette limite des 35 mètres ne s'applique plus.

VIII. Coûts d'investissement et d'exploitation

A. Coût d'investissement des installations sous-sol :

Etudes détaillées	6 000€HT
Forage 1 puits Ø 279mm profondeur 60m Foration avec tubage à l'avancement Equipement crépine et tubage PVC Ø 279 mm, Tube plein et crépiné avec fente 3,0mm Mise en station de la machine de forage Tube de protection acier 279mm d'environ 3m Cimentation de l'espace inter-annulaire sur 27m Socle 1,75m x 1,75m Bride acier DN 280 pour tête étanche Main d'œuvre de pose et nettoyage Amenée et repli des équipement s de forage	100 000€HT
Test de pompage Par pallier avec pompe immergée 6 pouces et refoulement Pompage, essais de pallier durant 8h, avec pompe immergée 60 HMT à 70m3/h Pompage longue durée de 24heures Compris mise en place et retrait de la pompe d'essai et refoulement	10 000€HT
Fourniture et mise en place d'une pompe immergée 6SR27/7 200 m³/h – 70 à 50m de HTM Moteur 37kW 40m de câble 4G2,5mm monté usine Colonne INOX 304L 3" DN 80 avec tampon Diamètre extérieur du tube : 88.9 mm - épaisseur 3 mm Diamètre extérieur du manchon : 115 mm Tampon DN80 Estimation 30m Main d'œuvre de pose et essais	18 000€HT
AMO forage (8%)	10 000€HT
Garantie AQUAPAC recherche (optionnelle) (5%)	5 800 €HT
Total	**150 000€HT**

B. Coût d'exploitation P1, P2, P3

Les coûts de fonctionnement seront, pour la partie sous-sol, exclusivement liés à la consommation électrique de la pompe d'exhaure qui assurera le pompage, la circulation de l'eau dans les conduites et dans l'échangeur, la réinjection.

La puissance électrique de la pompe est de 37 kW.

P2 : 1000 €HT/an pour la maintenance des installations en sous-sol

Contrat de maintenance : 1000€HT/an

P3 : 2 900€HT/an pour la partie des installations en sous-sol

Remplacement de la pompe immergée tous les 10 ans : 1500€HT/an

Nettoyage du puits et contrôle caméra tous les 5 ans : 1400€HT/an

II. Planning prévisionnel

Semaine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Etudes détaillées														
Démarches administratives dont AQUAPAC														
Consultation des entreprises de forage														
Forage et équipement puits de production														
Test puits de production														
Aménagement puits d'injection														
Test puits de production et injection														
Installation pompe d'exhaure et tests de fonctionnement														

III. ANNEXES

A. ANNEXE 1 : LEXIQUE

AMO	Assistance à Maîtrise d'Ouvrage
CdC	Cahier des Charges
DICT	Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux
DN	Diamètre Nominal
ETP	EvapoTranspiration Potentielle
GMI	Géothermie de Minime Importance
MO	Maîtrise d'Ouvrage (STELLANTIS)
PAE	Plan d'Assurance Environnement
PAQ	Plan d'Action Qualité
PPR	Plan de Prévention des Risques
PPSPS	Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé
RGE	Reconnu Garant de l'Environnement
TAR	Tours aéroréfrigérantes

B. Analyses d'eau

CARSO - LABORATOIRE SANTÉ ENVIRONNEMENT HYGIÈNE DE LYON

Laboratoire Agréé pour les analyses d'eaux par le Ministère de la Santé

Accréditation N°1-1531 PORTEE disponible sur www.cofrac.fr

Rapport d'analyse Page 1 / 4
Edité le : 25/07/2023

CARSO-CAE RENNES
17 Rue du doyen Denis Leroy
CS 7440
35044 RENNES

Le rapport établi ne concerne que les échantillons soumis à l'essai. Il comporte 4 pages.
La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.
L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, identifiés par le symbole #.

Identification dossier : CAB23-26020 **Réference contrat :** CABC23-689
Identification échantillon : **CAB2307-6384-1**
Doc Adm Client : Devis signé
NATURE : Eau souterraine
ORIGINE : Site Stellantis
Eau de forage
COMMUNE : CAEN
DEPARTEMENT : 14
PRELEVEMENT : Prélevé le 07/07/2023 de 15h29 à 15h29 Réceptionné le 08/07/2023
Prélevé par TERSINET David
Flaconnage CARSO-CAE RENNES

Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont consultables au laboratoire. Pour déclarer, ou non, la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat.

Toutes les informations relatives aux conditions de prélèvement ont été transmise par le client.
Le laboratoire n'est pas responsable de la validité des informations transmises par le client.

Date de début d'analyse : 08/07/2023

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Normes	Limites de qualité	Références de qualité	COFRAC
Analyses microbiologiques							
Bactéries ferrugineuses	Absence	-	Examen microscopique				
Bactéries sulfato-réductrices	< 1	/ml	Kit Labège BSR	*Méthode interne semi-quantitative*			
Analyses physicochimiques							
Analyses physicochimiques de base							
Indice hydrocarbures (C10-C40)	< 0.1	mg/l	GC/FID	*NF EN ISO 9377-2*			#
Indice hydrocarbures volatils	< 50	µg/l	HS/GC/FID	*NF T90-124*			1
Hydrocarbures totaux	<100	µg/l	Calcul				
TH (Titre Hydrotimétrique)	39.0	° f	Calcul à partir de Ca et Mg	*Méthode interne M_EM144*			#
Cations							

.../...

CARSO - LSEHL
Rapport d'analyse Page 2 / 4
Edité le : 25/07/2023
Identification échantillon : CAB2307-6384-1
Destinataire : CARSO-LSEHL

Toutes les informations relatives aux conditions de prélèvement ont été transmise par le client.
Le laboratoire n'est pas responsable de la validité des informations transmises par le client.

Paramètres analytiques		Résultats	Unités	Méthodes	Normes	Limites de qualité	Références de qualité	COFRAC
Calcium total		146.0	mg/l Ca	ICP/AES après acidification et décantation	*NF EN ISO 11885*			#
Magnésium total		6.0	mg/l Mg	ICP/AES après acidification et décantation	*NF EN ISO 11885*			#
Potassium total		2.2	mg/l K	ICP/AES après acidification et décantation	*NF EN ISO 11885*			#
Sodium total		19.3	mg/l Na	ICP/AES après acidification et décantation	*NF EN ISO 11885*			#
Métaux								
Aluminium total		< 0.010	mg/l Al	ICP/MS après acidification et décantation	*NF EN ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2*			#
Fer total		0.120	mg/l Fe	ICP/MS après acidification et décantation	*NF EN ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2*			#
Manganèse total		< 0.010	mg/l Mn	ICP/MS après acidification et décantation	*NF EN ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2*			#
Cuivre total		< 0.010	mg/l Cu	ICP/MS après acidification et décantation	*NF EN ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2*			#
Zinc total		0.010	mg/l Zn	ICP/MS après acidification et décantation	*NF EN ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2*			#
COV : composés organiques volatils								
BTEX								
Benzène	CAE_EP_55	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
Toluène	CAE_EP_55	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
Ethylbenzène	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
Xylènes (m + p)	CAE_EP_55	< 0.1	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
Xylène ortho	CAE_EP_55	< 0.05	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
Styrène	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
1,2,3-triméthylbenzène	CAE_EP_152	< 1	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
1,2,4-triméthylbenzène (pseudocumène)	CAE_EP_152	< 1	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
1,3,5-triméthylbenzène (mésytilène)	CAE_EP_152	< 1	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
Ethyl tertiobutyl ether (ETBE)	CAE_EP_55	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			
Isopropylbenzène (cumène)	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
Xylènes (o + m + p)	CAE_EP_55	<0.15	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			
4-isopropyltoluène (p cymène)	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
Tert butylbenzène	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
n-butyl benzène	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
Xylène p	CAE_EP_55	<0.1	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			
Xylène m	CAE_EP_55	<0.1	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			
MTBE (methyl-tertiobutylether)	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
Solvants organohalogénés								
1,1,2,2-tétrachloroéthane	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			
1,1,1-trichloroéthane	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1

.../...

CARSO - LSEHL
Rapport d'analyse Page 3 / 4
Edité le : 25/07/2023
Identification échantillon : CAB2307-6384-1
Destinataire : CARSO-LSEHL

Toutes les informations relatives aux conditions de prélèvement ont été transmise par le client.
Le laboratoire n'est pas responsable de la validité des informations transmises par le client.

Paramètres analytiques		Résultats	Unités	Méthodes	Normes	Limites de qualité	Références de qualité	COFRAC
1,1,2-trichloroéthane	CAE_EP_152	< 0.20	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
1,1,2-trichlorotrifluoroéthane (fréon 113)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
1,1-dichloroéthane	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
1,1-dichloroéthylène	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
1,2-dibromoéthane	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
1,2-dichloroéthane	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
Cis 1,2-dichloroéthylène	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
Trans 1,2-dichloroéthylène	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
1,2-dichloropropane	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
2,3-dichloropropène	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
3-chloropropène (chlorure d'allyle)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			
Bromochlorométhane	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
Chlorométhane	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			
Cis 1,3-dichloropropylène	CAE_EP_152	< 2.00	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			
Trans 1,3-dichloropropylène	CAE_EP_152	< 2.00	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			
Dichlorométhane	CAE_EP_152	< 5.0	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
Hexachlorobutadiène	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
Hexachloroéthane	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
Tétrachloroéthylène	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
Tétrachlorure de carbone	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
Trichloroéthylène	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			1
Trichlorofluorométhane	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 10301*			
Dérivés du benzène								
Chlorobenzènes								
Monochlorobenzène	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
2-chlorotoluène	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
3-chlorotoluène	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
4-chlorotoluène	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
1,2-dichlorobenzène	CAE_EP_152	< 0.05	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
1,3-dichlorobenzène	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1
1,4-dichlorobenzène	CAE_EP_152	< 0.05	µg/l	HS/GC/MS	*NF EN ISO 11423-1*			1

CAE_EP_55 CAE_EP_BTEX
CAE_EP_152 CAE_EP_COV DONT CL VINYL SANS THM EN HS

ABSENCE DU LOGO COFRAC

1 L'absence du logo Cofrac provient d'un délai de mise en analyse par rapport au prélèvement supérieur aux exigences normatives.

Les paramètres réalisés au laboratoire CARSO-LSEHL de Vénissieux (accréditation 1-1531 portée disponible sur www.cofrac.fr) sont identifiés par (*)

.../...

CARSO - LSEHL
Rapport d'analyse Page 4 / 4
Edité le : 25/07/2023
Identification échantillon : CAB2307-6384-1
Destinataire : CARSO-LSEHL

Virginie BORNU
Responsable de laboratoire



CARSO - CAE

Laboratoire Agréé pour les analyses d'eaux par le Ministère de la Santé

Accréditation 1-6594 PORTEE disponible sur www.cofrac.fr

CARSO-CAE RENNES
17 Rue du doyen Denis Leroy
35000 RENNES

Edité le : 25/07/2023

Rapport d'analyse Page 1 / 4

GEOTHERMAQ
Jérôme PORFIRIO

2 AVENUE DU PRESIDENT PIERRE ANGOT
64000 PAU

Le rapport établi ne concerne que les échantillons soumis à l'essai. Il comporte 4 pages.
La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.
Dans le cas ou le laboratoire n'a pas réalisé l 'étape de prélèvement, les résultats s'appliquent uniquement à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

Les résultats et les conclusions éventuelles s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu .
Seules certaines prestations rapportées dans ce document sous couvertes par l'accréditation. Elles sont identifiées par le symbole #.

Identification dossier :	CAB23-26020	**Réference contrat :** CABC23-689	
Identification échantillon :	**CAB2307-6384-1**		
Doc Adm Client :	Devis signé		
Nature:	Eau souterraine		
Origine :	Site Stellantis MONDEVILLE Eau de forage		
Dept et commune :	**14 CAEN**		
Coordonnées GPS du point (x,y)	**X :** 49,1590834000	**Y :** -0,3188427000	
Prélèvement :	Prélevé le 07/07/2023 de 15h29 à 15h29	Réception au laboratoire le 08/07/2023	
	Prélevé et mesuré sur le terrain par le client TERSINET David Flaconnage CARSO-CAE RENNES		

Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont consultables au laboratoire. Pour déclarer, ou non, la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat.
Les incertitudes de mesures ne tiennent pas compte de l'incertitude liée à l'échantillonnage.

Toutes les informations relatives aux conditions de prélèvement ont été transmise par le client.
Le laboratoire n'est pas responsable de la validité des informations transmises par le client.

Date de début d'analyse le 08/07/2023

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Normes	LQ	Limites de qualité	Références de qualité	COFRAC
Mesures sur le terrain ***Mesures sur le terrain effectuées par le client***								
Température de l'eau	16.8	°C		Méthode interne	0			
pH sur le terrain	7.1	-		Méthode interne	0.5			
Conductivité brute à 25°C sur le terrain	833	µS/cm		Méthode interne	10			
Oxygène dissous	8.69	mg/l O2		NFMéthode interne	0.01			

.../...

CARSO-CAE
Rapport d'analyse Page 2 / 4
Edité le : 25/07/2023
Identification échantillon : CAB2307-6384-1
Destinataire : GEOTHERMAQ

Doc Adm Client : Devis signé

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Normes	LQ	Limites de qualité	Références de qualité	
Potentiel d'oxydoréduction E (Pt//Ag//AgCl)	43	mV		Méthode interne				
Analyses microbiologiques								
Bactéries ferrugineuses (*)	Absence	-	Examen microscopique					
Bactéries sulfato-réductrices (*)	< 1	/ml	Kit Labège BSR	Méthode interne semi-quantitative	1			
Analyses physicochimiques								
Analyses physicochimiques de base								
pH	7.26	-	Electrochimie	NF EN ISO 10523	0.5			1
Température de mesure du pH	12.7	°C		NF EN ISO 10523	1			
Indice hydrocarbures (C10-C40) (*)	< 0.1	mg/l	GC/FID	NF EN ISO 9377-2	0.1			#
Indice hydrocarbures volatils (*)	< 50	µg/l	HS/GC/FID	NF T90-124	50			1
Hydrocarbures totaux (*)	<100	µg/l	Calcul		100			
TA (Titre alcalimétrique)	0.00	° f	Potentiométrie	NF EN 9963-1				#
TAC (Titre alcalimétrique complet)	25.52	° f	Potentiométrie	NF EN 9963-1				#
TH (Titre Hydrotimétrique) (*)	39.0	° f	Calcul à partir de Ca et Mg	Méthode interne M_EM144	0.5			#
Equilibre calcocarbonique								
pH à l'équilibre à la température de l'eau	7.15	-	Calcul	Méthode Legrand et Poirier				
Equilibre calcocarbonique (5 classes)	à l équilibre	-	Calcul	Méthode Legrand et Poirier				
Cations								
Calcium total (*)	146.0	mg/l Ca	ICP/AES après acidification et décantation	NF EN ISO 11885	0.10			#
Magnésium total (*)	6.0	mg/l Mg	ICP/AES après acidification et décantation	NF EN ISO 11885	0.05			#
Potassium total (*)	2.2	mg/l K	ICP/AES après acidification et décantation	NF EN ISO 11885	0.1			#
Sodium total (*)	19.3	mg/l Na	ICP/AES après acidification et décantation	NF EN ISO 11885	0.2			#
Anions								
Orthophosphates	< 0.10	mg/l PO4	Spectrophotométrie automatisée	NF ISO 15923-1	0.10			#
Chlorures	51.6	mg/l Cl-	Spectrophotométrie automatisée	NF ISO 15923-1	1.0			#
Sulfates	53.0	mg/l SO4--	Spectrophotométrie automatisée	NF ISO 15923-1	1.5			#
Nitrates	59.3	mg/l NO3-	Spectrophotométrie automatisée	NF ISO 15923-1	0.5			#
Nitrites	<0.010	mg/l NO2-	Spectrophotométrie automatisée	NF ISO 15923-1	0.01			#
Métaux								
Aluminium total (*)	< 0.010	mg/l Al	ICP/MS après acidification et décantation	NF EN ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2	0.010			#
Fer total (*)	0.120	mg/l Fe	ICP/MS après acidification et décantation	NF EN ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2	0.010			#
Manganèse total (*)	< 0.010	mg/l Mn	ICP/MS après acidification et décantation	NF EN ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2	0.010			#
Cuivre total (*)	< 0.010	mg/l Cu	ICP/MS après acidification et décantation	NF EN ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2	0.010			#
Zinc total (*)	0.010	mg/l Zn	ICP/MS après acidification et décantation	NF EN ISO 17294-1 et NF EN ISO 17294-2	0.010			#
COV : composés organiques volatils								

.../...

CARSO-CAE
Rapport d'analyse Page 3 / 4
Edité le : 25/07/2023
Identification échantillon : CAB2307-6384-1
Destinataire : GEOTHERMAQ

Doc Adm Client : Devis signé

Paramètres analytiques		Résultats	Unités	Méthodes	Normes	LQ	Limites de qualité	Références de qualité	
BTEX									
Benzène (*)	CAE_EP_55	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.5			1
Toluène (*)	CAE_EP_55	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.5			1
Ethylbenzène (*)	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.5			1
Xylènes (m + p) (*)	CAE_EP_55	< 0.1	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.1			1
Xylène ortho (*)	CAE_EP_55	< 0.05	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.05			1
Styrène (*)	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.5			1
1,2,3-triméthylbenzène (*)	CAE_EP_152	< 1	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	1			1
1,2,4-triméthylbenzène (pseudocumène) (*)	CAE_EP_152	< 1	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	1			1
1,3,5-triméthylbenzène (mésytilène) (*)	CAE_EP_152	< 1	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	1			1
Ethyl tertiobutyl ether (ETBE) (*)	CAE_EP_55	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.5			
Isopropylbenzène (cumène) (*)	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.5			1
Xylènes (o + m + p) (*)	CAE_EP_55	<0.15	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.15			
4-isopropyltoluène (p cymène) (*)	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.5			1
Tert butylbenzène (*)	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.5			1
n-butyl benzène (*)	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.5			1
Xylène p (*)	CAE_EP_55	<0.1	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.1			
Xylène m (*)	CAE_EP_55	<0.1	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.1			
MTBE (methyl-tertiobutylether) (*)	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.5			1
Solvants organohalogénés									
1,1,2,2-tétrachloroéthane (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			
1,1,1-trichloroéthane (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
1,1,2-trichloroéthane (*)	CAE_EP_152	< 0.20	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.20			1
1,1,2-trichlorotrifluoroéthane (fréon 113) (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
1,1-dichloroéthane (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
1,1-dichloroéthylène (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
1,2-dibromoéthane (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
1,2-dichloroéthane (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
Cis 1,2-dichloroéthylène (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
Trans 1,2-dichloroéthylène (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
1,2-dichloropropane (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
2,3-dichloropropène (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
3-chloropropène (chlorure d'allyle) (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			
Bromochlorométhane (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
Chlorométhane (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			
Cis 1,3-dichloropropylène (*)	CAE_EP_152	< 2.00	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	2.00			

.../...

CARSO-CAE
Rapport d'analyse Page 4 / 4
Edité le : 25/07/2023
Identification échantillon : CAB2307-6384-1
Destinataire : GEOTHERMAQ

Doc Adm Client : Devis signé

Paramètres analytiques		Résultats	Unités	Méthodes	Normes	LQ	Limites de qualité	Références de qualité	
Trans 1,3-dichloropropylène (*)	CAE_EP_152	< 2.00	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	2.00			
Dichlorométhane (*)	CAE_EP_152	< 5.0	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	5.0			1
Hexachlorobutadiène (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
Hexachloroéthane (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
Tétrachloroéthylène (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
Tétrachlorure de carbone (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
Trichloroéthylène (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			1
Trichlorofluorométhane (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 10301	0.50			
Dérivés du benzène ***Chlorobenzènes***									
Monochlorobenzène (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.50			1
2-chlorotoluène (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.50			1
3-chlorotoluène (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.50			1
4-chlorotoluène (*)	CAE_EP_152	< 0.50	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.50			1
1,2-dichlorobenzène (*)	CAE_EP_152	< 0.05	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.05			1
1,3-dichlorobenzène (*)	CAE_EP_152	< 0.5	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.5			1
1,4-dichlorobenzène (*)	CAE_EP_152	< 0.05	µg/l	HS/GC/MS	NF EN ISO 11423-1	0.05			1

CAE_EP_55 CAE_EP_BTEX
CAE_EP_152 CAE_EP_COV DONT CL VINYL SANS THM EN HS

ABSENCE DU LOGO COFRAC

1 L'absence du logo Cofrac provient d'un délai de mise en analyse par rapport au prélèvement supérieur aux exigences normatives.

Les paramètres réalisés au laboratoire CARSO-LSEHL de Vénissieux (accréditation 1-1531 portée disponible sur www.cofrac.fr) sont identifiés par (*)
Limites de Qualité : Les limites de qualités sont soit des limites de qualité réglementaires , soit des limites de qualité du client.

Seuil réglementaire : fait référence aux limites ou références de qualités fixées par la réglementation.
Seuil de vigilance : fait référence à un seuil interne défini par le client.

Si certains paramètres soumis à des seuils de conformité ne sont pas couverts par l'accréditation alors la déclaration de conformité n'est pas couverte par l'accréditation.

Hermann COLOMBE
Technicien

