



Projet d'installation d'un procédé géothermique très basse énergie pour le château de la beuvrière à Perche-en-Nocé (61)

Avis préalable au dépôt d'un dossier de demande d'autorisation au titre du code minier

AVIS PREALABLE A DOSSIER D'AUTORISATION

Château de la Beuvrière (61)

A25E0014
R-2025-04-16-V1

AOUT 2025

SOMMAIRE

A. CADRE ET OBJECTIF DE LA MISSION	4
A.1. CADRE DE LA MISSION.....	4
A.2. OBJECTIF DE LA MISSION	5
A.2.1. <i>Les fondements</i>	5
A.2.2. <i>Le cadrage</i>	5
A.2.3. <i>Les paramètres déterminants</i>	5
A.2.4. <i>Du bon dimensionnement des ouvrages souterrains</i>	6
A.2.5. <i>Du bon respect des réglementations</i>	7
A.2.6. <i>Deux configurations étudiées</i>	7
B. CONTEXTE NATUREL.....	9
B.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET HYDROGRAPHIQUE	9
B.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	11
B.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	13
B.3.1. <i>La craie du Cénomanién</i>	13
B.3.2. <i>Les calcaires de l'Oxfordien</i>	14
B.3.3. <i>Log sur le référentiel LISA</i>	14
C. ÉLÉMENTS D'EXPLOITATIONS LOCALES DES NAPPES.....	21
C.1. OUVRAGES A USAGE AGRICOLE	21
C.2. OUVRAGES A USAGE INDUSTRIEL.....	21
C.3. OUVRAGE A USAGE D'EAU POTABLE.....	21
C.4. OUVRAGE A USAGE DE GEOTHERMIE SUR NAPPE.....	21
D. CONTEXTES ENVIRONNEMENTAL ET REGLEMENTAIRE.....	22
D.1. SCHEMA DIRECTEUR D'AMENAGEMENT ET GESTION DES EAUX (SDAGE).....	23
D.2. CODE MINIER DE MINIME IMPORTANCE	24
D.3. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIES AUX CAVITES (HORS MINES) »	28
D.4. PHENOMENE « ARTESIANISME ».....	28
D.5. PHENOMENE « MISE EN COMMUNICATION DES EAUX SOUTERRAINES ENTRE DIFFERENTS AQUIFERES »	29
E. APPROCHE TECHNIQUE	30
E.1. PREDIMENSIONNEMENT D'UNE SOLUTION DE GEOTHERMIE SUR SONDE	30
E.1.1. <i>Méthode de dimensionnement</i>	30
E.1.2. <i>Paramètres de dimensionnement</i>	30
E.1.3. <i>Résultats de la géomodélisation</i>	32
E.1.4. <i>Implantation du champ de sondes géothermiques</i>	35
E.2. PREDIMENSIONNEMENT D'UNE SOLUTION DE GEOTHERMIE SUR NAPPE.....	36
F. CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS.....	37

FIGURES

Figure 1 : Synthétique de la pertinence d'un projet géothermique	8
Figure 2 : Plan de localisation général sur fond de carte topographique IGN au 1/25000	10
Figure 3 : Localisation du projet sur un extrait de la carte géologique de NOGENT-LE-ROTHOU au 1/50 000 (Source : BRGM)	12
Figure 4: Log hydrogéologique au droit du projet sur le référentiel LISA	17
Figure 5: Extension de l'aquifère des Sables indifférenciés et argiles de l'Apto-Abien (d'après la BDLISA)	18
Figure 6: Isopièzes de la nappe de l'Albien-Bassin Seine-Normandie - BRGM 2018	19
Figure 7: Nappes réservées en priorité à l'alimentation en eau potable	24
Figure 8 : Extrait de la carte des zones réglementaires de géothermie de minime importance pour les échangeurs fermés (Géothermies.fr).....	26
Figure 9: Extrait de la carte des zones réglementaires de géothermie de minime importance pour les échangeurs ouverts (Géothermies.fr)	26
Figure 10: Graphique représentant l'évolution de la température en entrée et sortie de PAC du fluide circulant dans les sondes sur 50 années d'exploitation.....	33
Figure 11: Graphique représentant l'évolution de la température en entrée et sortie de PAC du fluide circulant dans les sondes lors de la 50ème année d'exploitation.....	34
Figure 12: Plan d'implantation prévisionnel de 30 sondes géothermiques sur fond de vue aérienne	35

TABLEAUX

Tableau 1 : Coupe géologique prévisionnelle au droit du château de la Beuvrière à Perche-en-Nocé (61)	11
Tableau 2: Informations ponctuelles sur la piézométrie de la nappe de la craie du Cénomaniens dans le secteur d'étude (InfoTerre).....	13
Tableau 3: Informations ponctuelles sur la piézométrie de la nappe des calcaires de l'Oxfordien dans le secteur d'étude (InfoTerre)	14
Tableau 4: Récapitulatif des contextes environnemental et réglementaire au droit du projet	22
Tableau 5: Régimes d'application des installations géothermiques de minime importance	27
Tableau 6: hypothèses et paramètres de dimensionnement du champ de sondes	31
Tableau 7 : hypothèse de répartition des besoins thermiques annuels	32
Tableau 8: Estimation du nombre de forage géothermique nécessaire sur la base du débit potentiel d'exploitation	36

ANNEXES

Annexe 1: Extrait du plan cadastral de la commune de Perche-en-Nocé où se situe le projet	38
Annexe 2: Coupes géologiques des ouvrages BSS consultés	40

A. CADRE ET OBJECTIF DE LA MISSION

A.1. CADRE DE LA MISSION

Dans le cadre d'une rénovation énergétique du château de la Beuvrière sur la commune de Perche-en-Nocé (61), la Maîtrise d'Ouvrage de l'opération représentée par M. Eddie TURCON a confié à la société BONNIER FORAGES la mission de mise en œuvre d'une solution géothermique assistée par Pompe À Chaleur pour répondre à tout ou partie des besoins de chauffage du bâtiment.

La Maîtrise d'Ouvrage s'est orientée vers la mise en œuvre d'un procédé géothermique sur sondes verticales et deux sondes géothermiques de 70 m ont été réalisées par la société Bonnier Forages en août 2023.

À la suite d'une évolution de la carte de zonage réglementaire relative à la Géothermie Minimale importance (GMI) en région Normandie, l'étude de dimensionnement a mis en évidence le classement en zone « *Rouge* » du projet. Au moment des travaux des deux sondes existantes, le projet était en zone verte. Les ouvrages ont été déclarés et portent le numéro de déclaration 13306 et d'installation 10416. Les identifiants BSS des ouvrages sont BSS004GWHE et BSS004GWHC.

Dans ce contexte, la maîtrise d'ouvrage a mandaté le bureau d'études EGEE DEVELOPPEMENT, en sa qualité d'expert, afin d'émettre un avis préalable au dépôt d'un dossier d'autorisation au titre du code minier.

Afin de répondre à la demande de la Maîtrise d'Ouvrage, et d'après notre expérience, nous avons proposé de mettre en œuvre une étude documentaire avec examen des contextes géologique, hydrogéologique, environnemental et réglementaire.

A.2. OBJECTIF DE LA MISSION

A.2.1. *Les fondements*

Même s'ils nécessitent des investissements plus importants que pour les traditionnelles utilisations d'énergies fossiles, le recours à la géothermie est un mode de fonctionnement économiquement très intéressant, indépendant des conditions climatiques. Selon le procédé mis en œuvre, l'économie d'exploitation en chauffage peut en effet atteindre 60 % du coût de l'énergie primaire de référence qu'est le gaz.

Dans ce cadre, faire appel au potentiel géothermique revêt un intérêt primordial, non seulement en terme économique, mais aussi dans le respect des politiques de protection de l'environnement engagées tant au niveau de l'État qu'à ceux des Collectivités territoriales : diminution des consommations d'énergies primaires fossiles et diminution de l'émission des gaz à effet de serre.

A.2.2. *Le cadrage*

L'analyse du potentiel d'utilisation de la géothermie doit tenir compte simultanément de :

- La **multiplicité des procédés** d'exploitation des ressources du sous-sol par géothermie
- La **nature** même des **besoins** : production pour le chauffage et niveau de température
- La diversité des modes d'exploitation
- La situation et des caractéristiques des éventuelles **exploitations existantes**
- La nature géologique et hydrogéologique du sous-sol
- L'ensemble des contraintes environnementales et réglementaires (G.M.I.)¹
- La **disponibilité foncière** pour la réalisation des ouvrages d'accès à la ressource (forages, ...)

A.2.3. *Les paramètres déterminants*

La faisabilité générale d'un projet d'exploitation par PAC géothermique sur ouvrages verticaux dépend d'un ensemble de paramètres pesant majoritairement sur le procédé sur nappe, et mineure sur le procédé par sondes. En plus des évidentes possibilités d'accès pour réaliser des travaux de forage, les principaux paramètres et les contraintes associées sont les suivants :

- Sur nappe :
 - La présence nécessaire d'une nappe exploitable au débit de pointe requis pour satisfaire les besoins sur le long terme ;
 - L'hétérogénéité de la perméabilité horizontale de l'aquifère exploité ;
 - Les variations de l'alimentation naturelle et les fluctuations naturelles du niveau piézométrique de la nappe, prises en compte sur le long terme (au moins sur 10 ans) ;
 - L'influence effective ou potentielle de pompes exploitant la même nappe à proximité du site ;
 - La direction générale d'écoulement de la nappe, et le gradient (« la pente ») de cet écoulement ;

¹ Voir le § D ci-après, relatif au Code Minier et la géothermie de Minime Importance (GMI)

- La compatibilité de la qualité de l'eau avec les équipements (forage, pompe, échangeur) ;
- L'accessibilité par forage à la ressource, à un coût acceptable ;
- Les possibilités de réinjection – nécessairement dans la même nappe - qui dépendent de la profondeur du niveau statique et de la productivité de l'aquifère exploité ;
- Sur sondes :
 - L'absence de terrains comprenant des cavités ou fractures importantes qui empêcheraient ou rendraient difficiles (et coûteux) les travaux de forage et la cimentation des capteurs verticaux posés ;
 - Une conductivité thermique acceptable des terrains au regard de la puissance appelée : par exemple, des terrains meubles et secs ne sont pas favorables.

A.2.4. Du bon dimensionnement des ouvrages souterrains

Le bon dimensionnement des ouvrages nécessaires aux transferts d'énergies avec le milieu souterrain est primordial pour une exploitation pérenne.

Selon le procédé envisagé doivent être pris en compte les paramètres suivants :

- Sur nappe :

Le principe fondamental est d'exploiter une nappe tout en ayant un prélèvement en eau nul ; autrement dit, par ce « circuit ouvert » sur le milieu naturel de n'effectuer que des transferts thermiques en utilisant l'eau souterraine comme vecteur d'énergie. L'objectif recherché est de limiter l'impact thermique des eaux réinjectées, notamment en dimensionnant les installations de manière à ne pas avoir (ou peu) de recyclage entre réinjection et pompage. Sur nappe, c'est ce procédé de doublet de forages qui est retenu par la réglementation Code minier au titre de la « Géothermie de Minime Importance » [« G.M.I. »] que nous résumerons plus loin dans ce document.

- Sur sondes :

Le principe fondamental de ce type de « circuit fermé » est, sans aucun prélèvement d'eau souterraine, de permettre de corrects échanges thermiques entre le terrain et les sondes, tout en interdisant (ou limitant) les interférences thermiques entre les sondes elles-mêmes.

- Les puissances extractibles dépendent de la nature des terrains, de la profondeur et du nombre de sondes ;
- Le dimensionnement doit prendre en compte l'alternance éventuelle du mode d'exploitation (chaud / froid).
- Dans tous les cas :
 - La disponibilité foncière doit être suffisante pour les ouvrages souterrains ;
 - L'accessibilité aux ouvrages doit être adaptée, à la fois pour leur création, mais aussi pour leur maintenance future.

Dans la majorité des cas, le dimensionnement définitif des ouvrages géothermiques ne pourra être établi qu'à partir d'un forage testé (conçu pour être valorisé pour l'exploitation prévue).

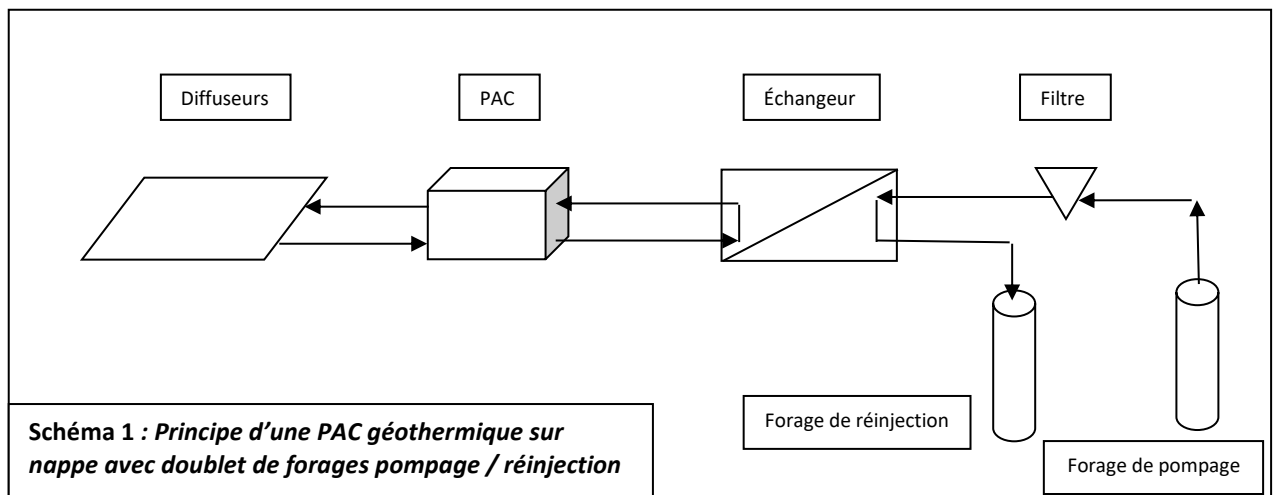
A.2.5. Du bon respect des réglementations

Différents Codes (Code Minier, Code de la Santé, Code de l'Environnement) réglementent les activités pouvant avoir un impact sur les activités existantes autorisées, les ressources du sous-sol (mines, eau), la santé publique (en particulier la protection des captages), l'environnement (installations classées, loi sur l'eau), ou encore l'aménagement du territoire. Ces contraintes réglementaires sont très sensiblement différentes pour chacun des procédés : PAC sur nappe ou PAC sur sondes. Les différentes configurations qui pourront être envisagées prendront impérativement en compte ces réglementations.

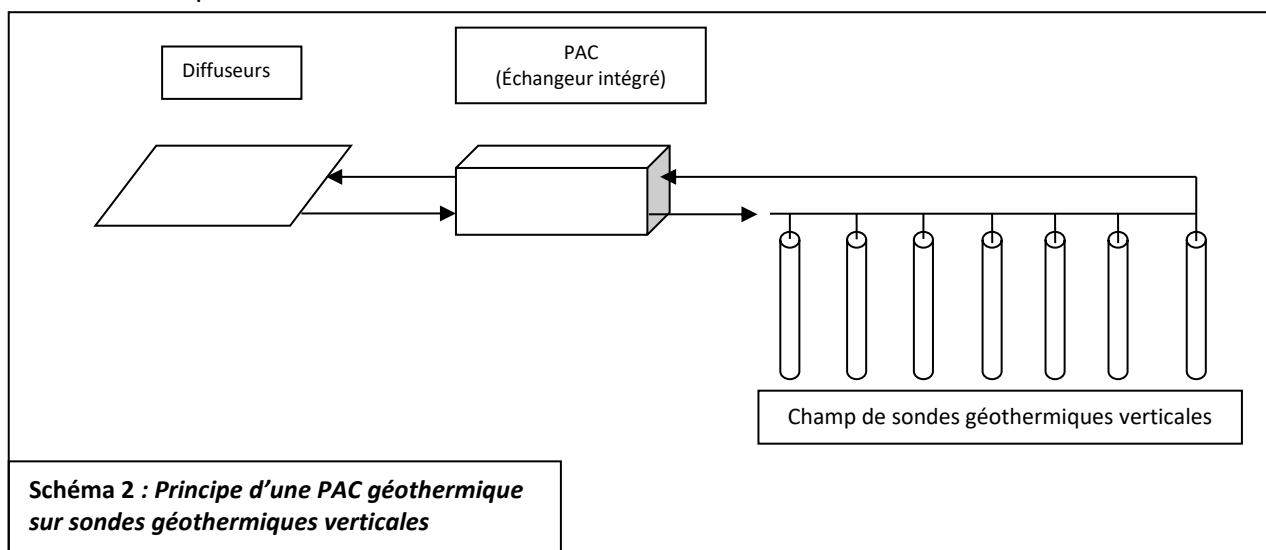
A.2.6. Deux configurations étudiées

Compte tenu de la nature du projet, les deux premières phases de notre mission vont s'attacher à juger, sans travaux, de la pertinence technique et économique d'une application des deux procédés de géothermie verticale très basse énergie schématisés ci-après :

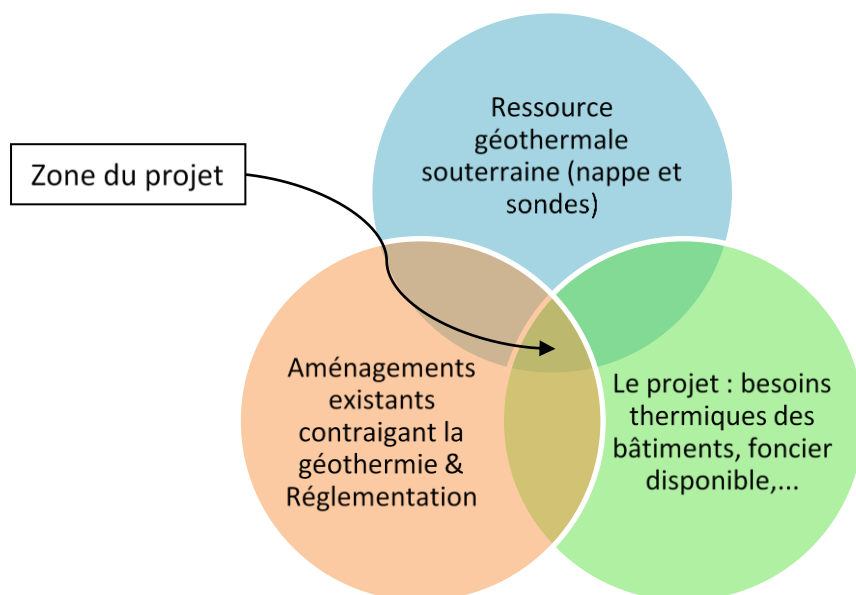
- Le **schéma 1** correspond à un **douplet de forages sur nappe**, permettant le pompage et la réinjection (dans la même nappe). En plus des évidentes adéquations besoins/ressource/réglementations, la pertinence de cette configuration dépend de la disponibilité foncière pour une implantation acceptable des forages, mais aussi des contraintes de niveau de la nappe (éventuelle difficulté pour réinjecter).



- Le **schéma 2** correspond à la création d'un **champ de sondes géothermiques verticales** dont le nombre est proportionnel à la puissance de crête nécessaire. En plus de sa validité économique, la pertinence de cette solution dépend principalement de la disponibilité foncière.



La faisabilité technique et réglementaire de la (ou des) configuration(s) possibles serviront de base à la prise en compte des paramètres économiques et environnementaux qui s'appuieront nécessairement sur les possibilités et hypothèses prises pour la création des ouvrages (forages d'eau ou sondes) :



B. CONTEXTE NATUREL

B.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET HYDROGRAPHIQUE

Le château de la Beuvrière est localisé sur la commune de Perche-en-Nocé (61), située dans le département de l'Orne en région Normandie. Le cours d'eau dénommé La Delmée s'écoule à environ 300 m à l'Ouest du projet.

L'altitude moyenne du site est de +160 m NGF.

Adresse du site : Château de la Beuvrière, 61340 Perche-en-Nocé

Situation cadastrale : Le projet se situe sur les parcelles cadastrales n°7 et 14 de la section OC.

Superficie foncière du site : environ 30 000 m².

- ⇒ Carte de situation générale présentée sur fond IGN en **FIGURE 2** ci-après
- ⇒ Plan cadastral présenté en **ANNEXE 1**.

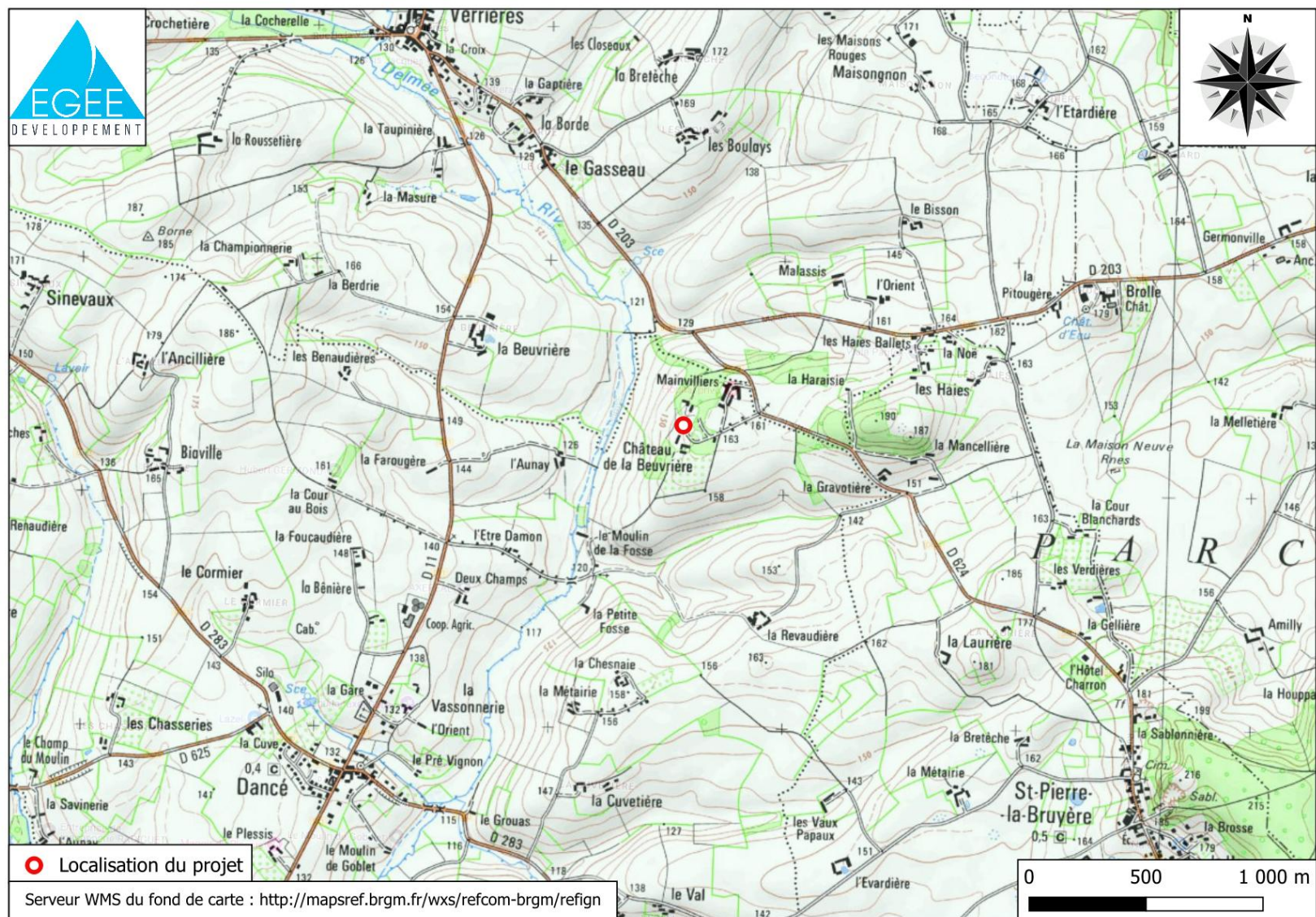


Figure 2 : Plan de localisation général sur fond de carte topographique IGN au 1/25000

B.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

D'après la carte géologique de NOGENT-LE-ROTHOU au 1/50 000 du BRGM (**FIGURE 3**), le projet est implanté sur des limons de plateau sur argiles à Silex recouvrant la craie glauconieuse du Cénomanién.

A partir des données issues de la banque de donnée du sous-sol (BSS), des coupes géologiques des forages référencés BSS004GWHE (sonde existante réalisée par le Bonnier Forage), BSS000VYFD, BSS000VYFA, BSS000VYFB, BSS000VYEV, BSS000VYFN et BSS000TTXG (Cf. coupes en **ANNEXE 2** et localisations des ouvrages en **FIGURE 3**), il ressort qu'au droit du château de la Beuvrière, les formations géologiques présentes sont les suivantes (de la plus jeune à la plus ancienne) :

- Limons de plateau (LP/AC) – Quaternaire : On y trouve des grains de glauconie et des smectites comme dans l'argile verte, et souvent des cailloux de gaize ;
- Formations résiduelles d'altérations (AC) – Quaternaire : l'altération du Cénomanién a donné naissance à des résidus très argileux AC1 ou très riches en blocs de gaize AC2 ;
- Craie du Cénomanién moyen à inférieur – Crétacé supérieur : les niveaux moyen et inférieur du Cénomanién sont représentés par la craie de Rouen et la craie glauconieuse reposant sur les argiles glauconiéuses basales.
- Calcaires de l'Oxfordien – Jurassique Supérieur : calcaires oolithiques ou récifaux, calcaires à Astartes avec intercalation sableuse ou marneuse.

La coupe géologique prévisionnelle des terrains au droit du projet est décrite dans le **TABLEAU 1** ci-après. Elle se base sur une altitude moyenne des terrains de +160 m NGF.

TOIT DE LA FORMATION		EPAISSEUR MOYENNE DE LA FORMATION (m)	LITHOLOGIE	STRATIGRAPHIE
ALTITUDE (m. N.G.F.)	PROFONDEUR MOYENNE (m)			
+160	(Sol)	1	LIMONS	(QUATENAIRE)
+159	1	4 à 8	ARGILE	(QUATENAIRE)
+151 à +155	5 à 9	62 à 65	CRAIE DE ROUEN/CRAIE GLAUCONIEUSE	CENOMANIEN MOYEN A INFERIEUR (CRETACE SUPERIEUR)
+86 à +93	67 à 74	13 à 18	ARGILES GLAUCONIEUSES	CENOMANIEN INFERIEUR (CRETACE SUPERIEUR)
+68 à 80	80 à 92	6 à 7	SABLES ET GRES DE L'ORMOIE	OXFORDIEN SUPERIEUR (JURASSIQUE SUPERIEUR))
+61 à +76	86 à 99	>50	CALCAIRES	OXFORDIEN SUPERIEUR (JURASSIQUE SUPERIEUR)

Tableau 1 : Coupe géologique prévisionnelle au droit du château de la Beuvrière à Perche-en-Nocé (61)

Il est important de préciser que les données concernant la géologie dans le secteur du projet sont rares. La stratigraphie est essentiellement basée sur les données des forages existants situés à plus de 2 km du projet. Il existe donc des incertitudes sur la profondeur d'atteinte et l'épaisseur annoncée des formations.

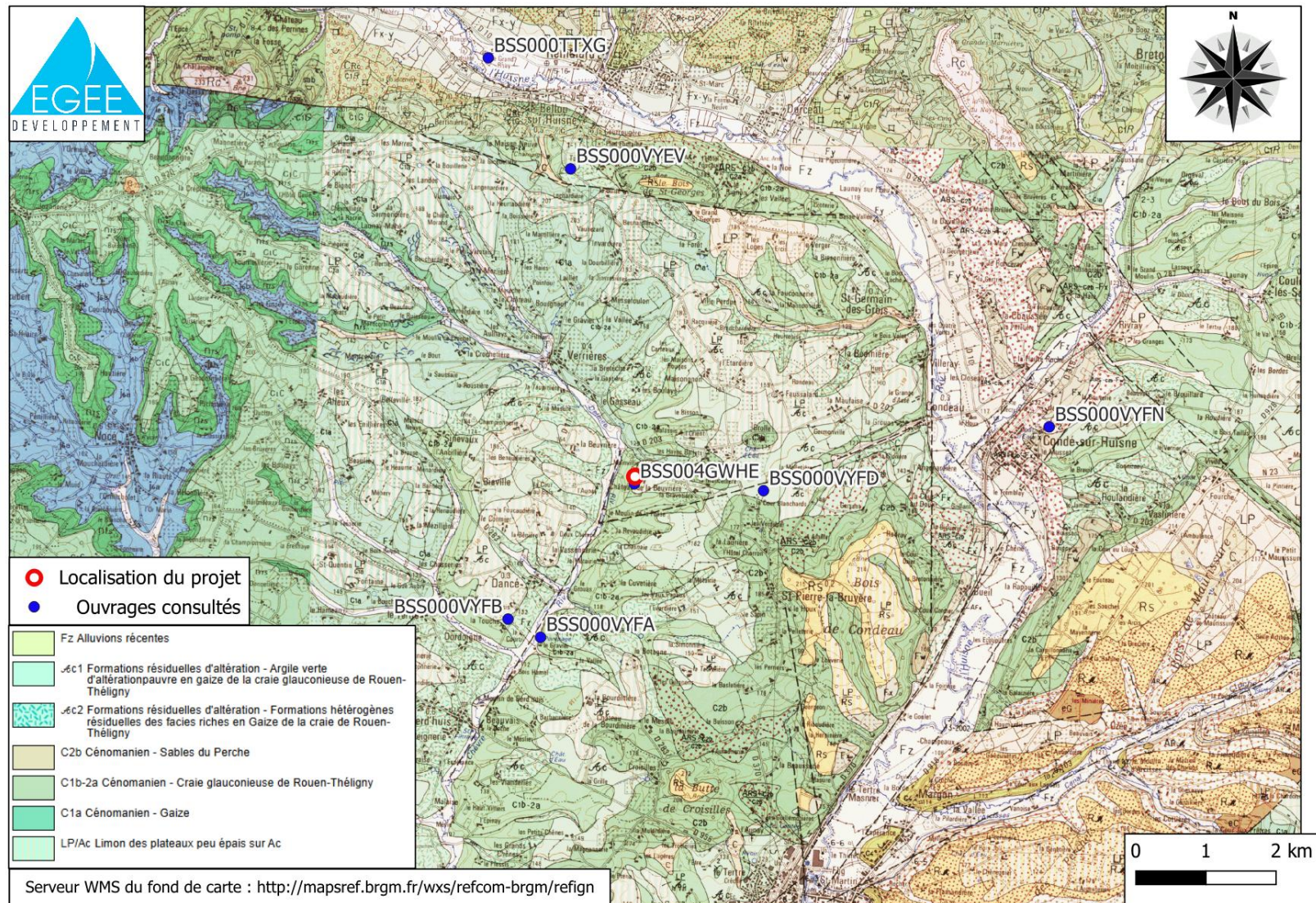


Figure 3 : Localisation du projet sur un extrait de la carte géologique de NOGENT-LE-ROTROU au 1/50 000 (Source : BRGM)

B.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Le contexte géologique nous conduit à distinguer deux formations aquifères dans la tranche des 100 premiers mètres de profondeur au droit du projet, à savoir :

- La craie du Cénomanien
- Les calcaires de l'Oxfordien

B.3.1. La craie du Cénomanien

D'après la coupe géologique prévisionnelle au droit du château de la Beuvrière, **le toit de l'aquifère de la craie du Cénomanien est situé vers +151 à + 155 m NGF, soit vers 5 à 9 m de profondeur** sous les formations du Quaternaire. La puissance du réservoir est estimée entre 62 et 65 m et il est limité par les formations très peu perméables d'argiles glauconieuse du cénomanien inférieur qui constitue le mur de l'aquifère.

Il n'existe aucune carte piézométrique établie sur cette nappe qui couvre le secteur d'étude, et les données piézométriques ponctuelles sont très rares.

Le **TABLEAU 2** donne les informations collectées sur la piézométrie de la nappe de la craie du Cénomanien dans des ouvrages référencés dans la Banque du Sous-sol du BRGM et localisés autour du projet.

OUVRAGE BSS	DISTANCE AU PROJET	ALTITUDE AU SOL	PROFONDEUR DU NIVEAU D'EAU	ALTITUDE DU NIVEAU D'EAU	DATE DE LA MESURE
BSS000VYEV	4,4 km au Nord	+167 m NGF	39 m/sol	+128 m NGF	Avril 1978
BSS000VYFD ²	1,8 km à L'Est	+155 m NGF	25 m/sol	+130 m NGF	Mars 2009
BSS004BKWV	4,3 km à l'Est	+134 m NGF	23,4 m/sol	+110,6 m NGF	Octobre 2018

Tableau 2: Informations ponctuelles sur la piézométrie de la nappe de la craie du Cénomanien dans le secteur d'étude (InfoTerre)

Le site à l'étude et les forages BSS000VYEV et BSS000VYFD semblent situés dans trois blocs géologiques différents. En effet, ils semblent être séparés par des failles supposées d'après la carte géologique. Toutefois, le niveau d'eau semble cohérent, il est donc possible d'avoir une continuité hydraulique entre les différents blocs.

À partir de l'ensemble des données relevées dans la BSS, **nous pouvons estimer le niveau piézométrique de la nappe au droit du projet entre + 110 et +130 m NGF soit entre 30 et 50 m de profondeur** (en considérant une cote moyenne des terrains de +160 m NGF au droit du projet). Toutefois, étant donné l'absence de carte piézométrique et le peu d'ouvrage récent permettant de renseigner sur un niveau piézométrique local, il est probable que ce niveau diffère légèrement en réalité.

² La formation décrite « calcaire glauconieux » entre + 117 et + 90 m NGF (38 à 65 m de profondeur) sur la coupe de ce forage serait probablement la craie glauconieuse. En effet, dans le secteur, les logs géologiques de forages interprétés par le BRGM indiquent à ces altitudes la présence de la craie du Cénomanien, là où certains foreurs mentionnent le calcaire. **Exemple : BSS000VYFN, BSS000VYEV**

A proximité du projet, il n'y a pas de données d'essais de pompage sur les forages captant l'aquifère de la craie du Cénomanien qui permettraient d'estimer la productivité de l'aquifère. Toutefois, l'ouvrage identifié BSS000VYFN (Ø 178/195 mm) situé à environ 6 Km à l'Est du projet mentionne un débit d'exploitation de la nappe compris entre 40 à 50 m³/h.

B.3.2. Les calcaires de l'Oxfordien

D'après la coupe géologique prévisionnelle au droit du château de la Beuvrière, **le toit de l'aquifère des calcaires de l'Oxfordien se situerait vers +61 à +76 m NGF, soit entre 86 et 99 m de profondeur** ; Il est séparé de l'aquifère de la craie du Cénomanien par environ 13 à 18 m d'argiles glauconieuses du Cénomanien inférieur. Les forages référencés dans le secteur n'ont pas atteint le mur de l'aquifère. Il n'est donc pas possible d'estimer son épaisseur. Toutefois, sur la base des données disponibles, celle-ci serait supérieure à 50 m.

Il n'existe aucune carte piézométrique établie sur cette nappe qui couvre le secteur d'étude, et les données piézométriques ponctuelles sont très rares.

Le **TABLEAU 3** donne les informations collectées sur la piézométrie de la nappe des calcaires de l'Oxfordien dans des ouvrages référencés dans la Banque du Sous-sol du BRGM et localisés autour du projet.

OUVRAGE BSS	DISTANCE AU PROJET	ALTITUDE AU SOL	PROFONDEUR DU NIVEAU D'EAU	ALTITUDE DU NIVEAU D'EAU	DATE DE LA MESURE
BSS000VYFB	2,7 km au Sud-Ouest	+132 m NGF	11,94 m/sol	+120,1 m NGF	Octobre 2000
BSS000VYEY/VYEZ	3,4 km au Nord-Ouest	+134 m NGF	0,9 / 1,04 m/sol	+133,1 / +132,96 m NGF	Septembre 1985 / avril 1986

Tableau 3: Informations ponctuelles sur la piézométrie de la nappe des calcaires de l'Oxfordien dans le secteur d'étude (InfoTerre)

À partir de l'ensemble des quelques données relevées dans la BSS, **nous pouvons estimer le niveau piézométrique de la nappe au droit du projet entre + 120 et +140 m NGF soit entre 20 et 40 m de profondeur** (en considérant une cote moyenne de +160 m NGF au droit du projet).

A proximité du projet, il n'y a pas de données d'essais de pompage sur des forages captant l'aquifère calcaire de l'Oxfordien qui permettraient d'estimer la productivité de l'aquifère.

Toutefois, l'ouvrage identifié BSS000VYFC (Ø 250 mm) situé à environ 2,7 Km au Nord-Ouest du projet mentionne une bonne productivité de la nappe avec un débit d'exploitation entre 75 et 100 m³/h. Aussi, l'ouvrage identifié BSS000VYEY (Ø 180 mm) situé à environ 3,4 Km au Nord-Ouest du projet mentionne également une bonne productivité de la nappe avec un débit d'exploitation pouvant être supérieur à 40 m³/h.

B.3.3. Log sur le référentiel LISA

Le référentiel LISA mentionne la présence de l'aquifère des Sables indifférenciés et argiles de l'Aptien-Abien sous les argiles du Cénomanien inférieur. Cependant, le projet est situé en limite de la carte piézométrique de l'Albien (**FIGURE 6**). Celle-ci indique un niveau piézométrique d'environ +167 m NGF au droit du projet, soit 7 m au-dessus du terrain naturel (si l'on considère une altitude moyenne des terrains de +160 m NGF au droit du projet). L'aquifère de l'Albien serait donc artésien au droit du projet (c'est-à-dire le niveau piézométrique de la nappe se situe au-dessus du sol).

Toutefois, le projet est situé en limite d'extension latérale de l'aquifère des Sables de l'Albien (**FIGURE 5**) et les sondages référencés dans le secteur du projet ne mettent pas en évidence sa présence (**ANNEXE 2**) soit car les ouvrages ne sont pas assez profonds soit car il est absent. Etant donné que les ouvrages recoupent la craie du Cénomanien et les Calcaires Oxfordien et que les formations devraient se trouver entre ces deux horizons, il est possible d'affirmer que les formations aquifères de l'Albien ne sont pas présente sur le secteur d'étude.

De plus, au vu de la profondeur des ouvrages envisagés, il est peu probable de recouper ces formations qui sont généralement profonde lorsqu'elles sont rencontrées dans les ouvrages existants. En effet, l'ouvrage BSS000TUNB et BSS000XZGB situé respectivement à 35 km à l'Est et 37 km au Sud-Est rencontre l'Albien vers 180 à 200 m de profondeur. Ces ouvrages sont dans la zone de la carte où la présence de l'Albien est vérifiée.

Sur la base de ces informations, nous estimons que l'aquifère artésien de l'Albien n'est pas présent au droit du projet.

Enfin, la BDLISA mentionne la présence de trois autres aquifères sous l'aquifère calcaire de l'Oxfordien, à savoir :

- Les Calcaires du Bajocien et du Bathonien (Dogger) ;
- Les Grès médioliasique du Domérien, grès et calcaire gréseux et marnes du Pliensbachien (Lias) ;
- Les Grès et argiles indifférenciés du Rhétien (Trias supérieur).

Etant donné la profondeur d'atteinte de ces horizons et la profondeur des forages à réaliser, ces formations ne seront pas recoupées.

Niveau 0 - Formations superficielles		
Niveau 1 - National	Niveau 2 - Régional	Niveau 3 - Locale
123-- Grand système multicouche du Cénomanien à l'Albien supérieur du Bassin Parisien	123BA-- Marnes et craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomanien, bassin de la Maine (bassin Loire-Bretagne)	123BA01-- Marnes et craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomanien, bassin de la Maine (bassin Loire-Bretagne)
125-- Grand domaine hydrogéologique des argiles, marnes et gaizes du Cénomanien inf. et de l'Albien sup. du Bassin Parisien	125AA-- Argiles du Gault, Marnes et Gaizes du Cénomanien inférieur à moyen et de l'Albien supérieur du Bassin parisien	125AA01-- Argiles du Gault, Marnes et Gaizes du Cénomanien inférieur à moyen et de l'Albien supérieur du Bassin Parisien
127-- Grand système multicouche du Crétacé inf. du Bassin Parisien	127AA-- Sables verts de l'Aptien-Albien du Bassin parisien	127AA99-- Sables indifférenciés et argiles de l'Apto-Albien du Bassin Parisien
133-- Grand domaine hydrogéologique des Marnes du Kimmeridgien du Bassin Parisien	133AA-- Marnes du Kimmériidgien du Bassin Parisien	133AA99-- Marnes indifférenciées du Kimmériidgien du Bassin Parisien
135-- Grand système aquifère du Kimmeridgien à l'Oxfordien sup. du Bassin Parisien	135AA-- Calcaires de l'Oxfordien supérieur au Kimmériidgien du Bassin Parisien	135AA51-- Calcaires de l'Oxfordien supérieur et du Kimmériidgien inférieur du Bassin Parisien, calcaires rocailloux à ptérocères, Calcaires à Astartes, Oolithe de Lamothe, Calcaires sublithographiques et Argiles à Ostrea
		135AA61-- Calcaire corallien de l'Oxfordien moyen à supérieur du Bassin Parisien
		135AA65-- Roussier de Gacé, sables ferrugineux du Perche et de Mortagne et sables de Vairais de

Légende	
Niveau 1	Grand système aquifère Grand domaine hydrogéologique Grand système multi couches
Niveau 2	Système aquifère Domaine hydrogéologique
Niveau 3	Unité aquifère Unité semi perméable Unité imperméable Inconnu ou non défini

		l'Oxfordien inférieur à moyen du Bassin Parisien
137-- Grand domaine hydrogéologique des Marnes du Callovien du Bassin Parisien	137AB-- Marnes du Callovo-Oxfordien du Bassin Parisien	137AB99-- Marnes indifférenciées du Callovo-Oxfordien du Bassin Parisien et Argiles de la Woëvre à l'est du Bassin Parisien
139-- Grand système multicouche du Jurassique moyen (Dogger) du Bassin Parisien et de ses bordures	139AD-- Calcaires du Bajocien et du Bathonien (Dogger), partie profonde du Bassin Parisien	139AD01-- Calcaires du Bajocien et du Bathonien (Dogger), partie profonde du Bassin Parisien
	139AP-- Calcaires de l'Aalénien-Bajocien du Bassin Parisien	139AP99-- Calcaires du Bajocien du Bassin Parisien
141-- Grand domaine hydrogéologique du Jurassique inf. (Lias) du Bassin Parisien et de ses bordures	141AB-- Marnes du Toarcien (Lias sup.) du Bassin Parisien	141AB99-- Marnes du Toarcien (Lias sup.) du Bassin Parisien
	141AC-- Grès, marnes et calcaires du Pliensbachien (Lias moyen) du Bassin Parisien	141AC01-- Grès médioliasique du Domérien, grès et calcaire gréseux et marnes du Pliensbachien du Bassin Parisien
143-- Grand système multicouche du Trias du bassin Parisien et de ses bordures	143AB-- Grès rhétiens et argiles rouges (Trias supérieur) du Bassin Parisien et de ses bordures	143AB99-- Grès et argiles indifférenciés du Rhétien (Trias sup.) du Bassin Parisien et de ses bordures

Figure 4: Log hydrogéologique au droit du projet sur le référentiel LISA

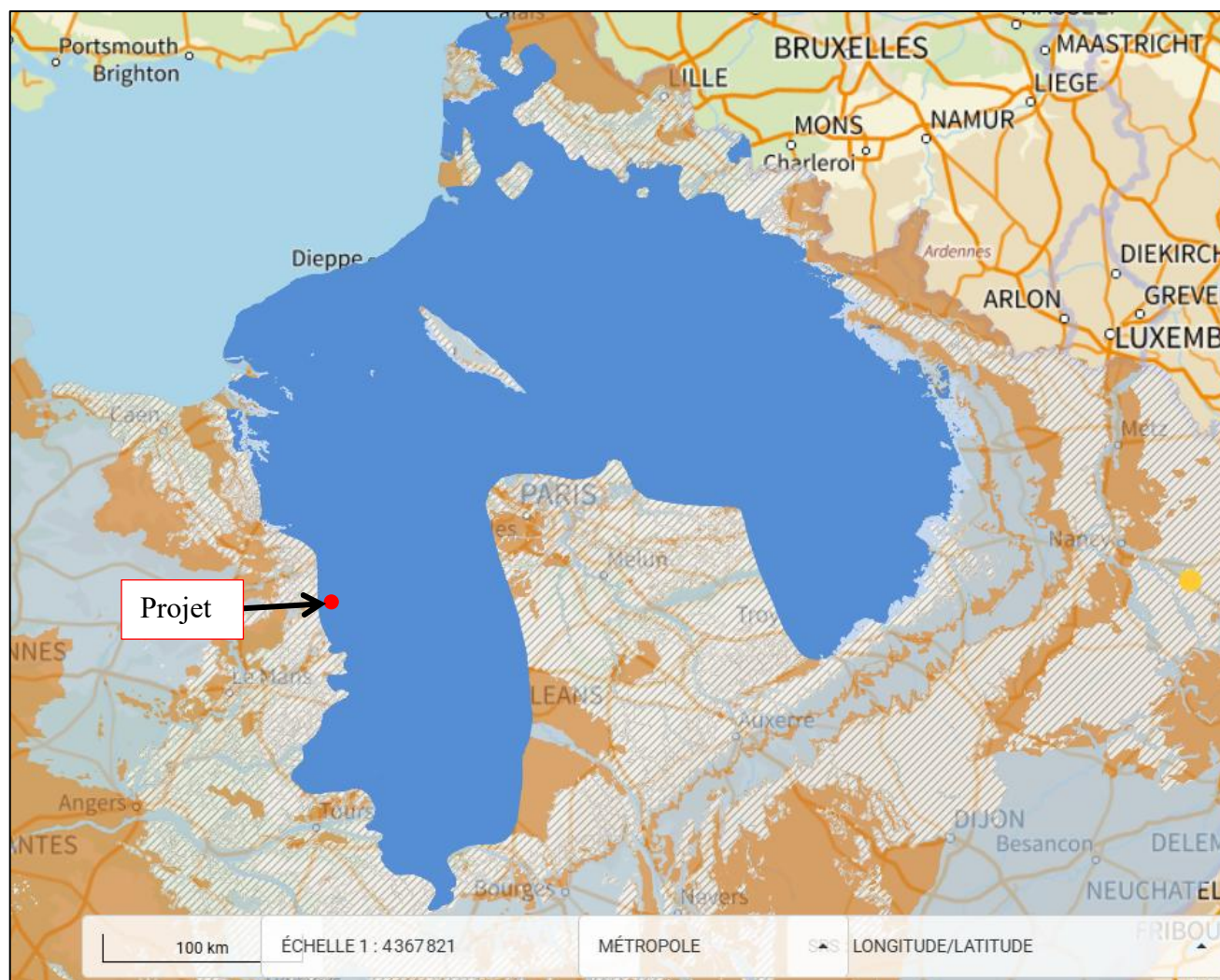


Figure 5: Extension de l'aquifère des Sables indifférenciés et argiles de l'Apto-Abien (d'après la BDLISA)

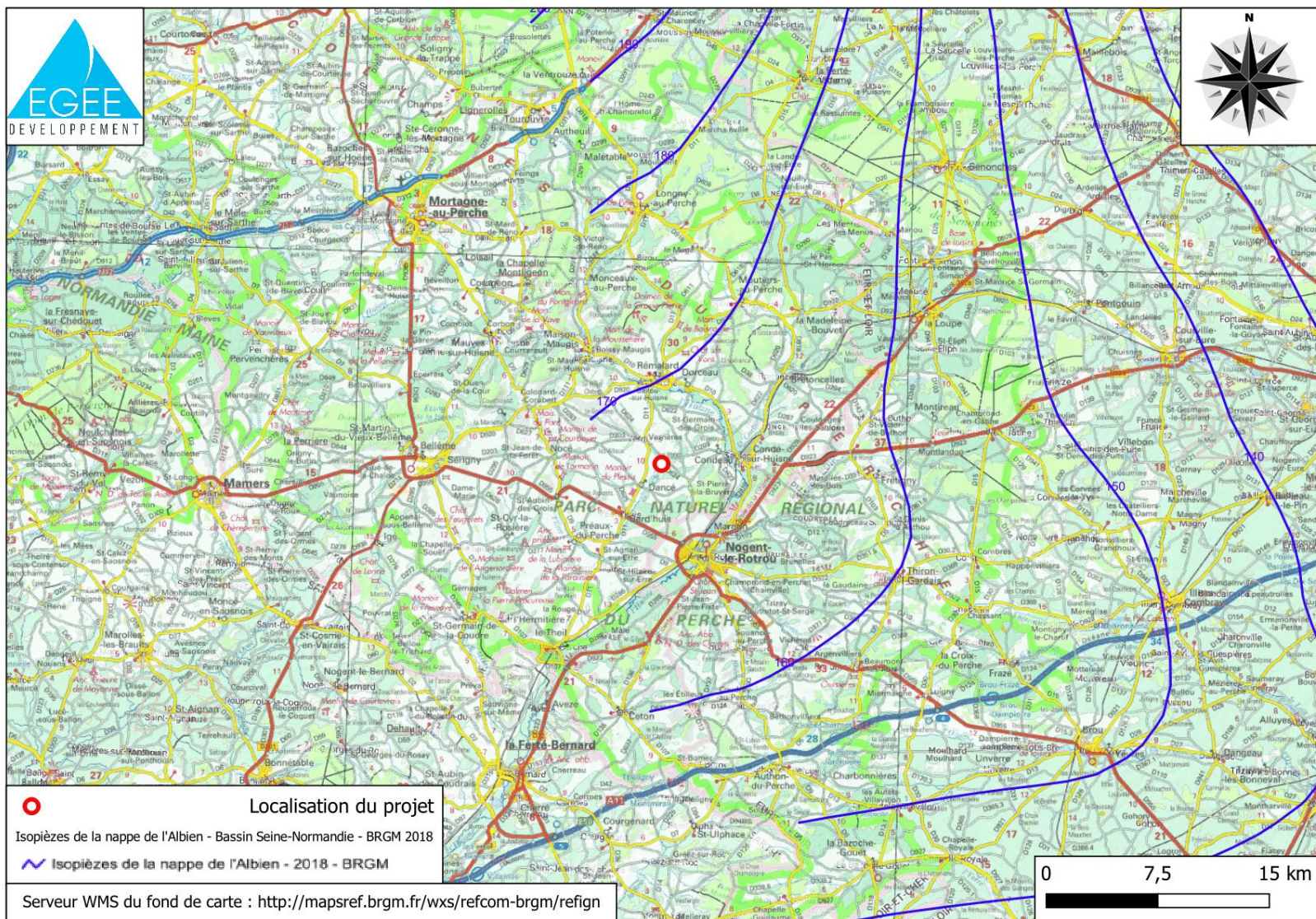


Figure 6: Isopièzes de la nappe de l'Albien-Bassin Seine-Normandie - BRGM 2018

D'après le contexte hydrogéologique au droit du château de la Beuvrière à Perche-en-Nocé, il ressort que :

- **Deux formations aquifères pérennes sont présentes au droit du projet dans la tranche des 100 premiers mètres de profondeur, à savoir : la Craie du Cénomaniens et les calcaires de l'Oxfordien ;**
- **La BDLISA mentionne la présence de l'aquifère artésien de l'Albien sous les argiles du Cénomaniens inférieur. Toutefois, le projet est situé en limite d'extension de ce niveau aquifère et les forages référencés dans le secteur du projet ne mettent pas en évidence sa présence. Nous estimons que l'aquifère des sables de l'Albien n'est donc pas présent au droit du projet ;**
- **La BDLISA mentionnent la présence de trois autres formations aquifères sous les calcaires de l'Oxfordien, à savoir : les Calcaires du Bajocien et du Bathonien (Dogger), les Grès médioliasique du Domérien, grès et calcaire gréseux et marnes du Pliensbachien et les Grès et argiles indifférenciés du Rhétien. Ces aquifères ne seront pas recoupées au vu de la profondeur des ouvrages visés.**

Du fait d'un manque de données, la productivité des nappes identifiées (Cénomaniens / Calcaire) est incertaine et ne permet pas d'être finement estimée et d'assurer qu'un débit suffisant sera disponible au droit du projet.

C. ÉLEMENTS D'EXPLOITATIONS LOCALES DES NAPPES

Sur le territoire de la commune de Perche-en-Nocé et celles aux alentours, des prélèvements en eau souterraine sont recensés par la banque de données BNPE-Eaufrance.

À titre de références et pour apprécier les inter-influences potentielles entre des exploitations, nous avons inventorié les forages captant une nappe dans un rayon de 2 km autour du projet ; ces informations proviennent des banques de données du Sous-Sol (BSS – Infoterre - BRGM) et BNPE-Eaufrance (BRGM et Office Français de la Biodiversité).

C.1. OUVRAGES A USAGE AGRICOLE

Il n'existe pas d'ouvrages de prélèvement en eau souterraine à usage agricole dans un rayon de 2 km autour du projet.

C.2. OUVRAGES A USAGE INDUSTRIEL

Il n'existe pas d'ouvrages de prélèvement en eau souterraine à usage industriel dans un rayon de 2 km autour du projet.

C.3. OUVRAGE A USAGE D'EAU POTABLE

D'après le site de l'ARS (Agence Régionale de la Santé), Il n'existe pas de captages AEP dans un rayon de 2 km autour du projet. **Le projet n'est donc pas situé dans un périmètre de protection relatif à un captage AEP.**

C.4. OUVRAGE A USAGE DE GEOTHERMIE SUR NAPPE

D'après le site geothermies.fr, il n'existe pas d'ouvrage de géothermie de surface sur échangeur ouverts (nappe) dans un rayon de 2 km autour du projet.

D. CONTEXTES ENVIRONNEMENTAL ET REGLEMENTAIRE

Le **TABLEAU 4** suivant résume les contextes environnemental et réglementaire au droit du site étudié, et précise les éventuelles contraintes. Les sous-chapitres suivants ce tableau illustrent et détaillent les éléments du tableau nécessitant des précisions.

OBJET	COMMENTAIRE	CONTRAINTE
Plan Local d'Urbanisme (PLU)	Zone A : Zone d'activité agricoles (d'après le PLUi CŒUR DU PERCHE)	A priori aucune
Périmètre de protection de captage d'eau potable	Le site à l'étude est situé en dehors de tout périmètre de protection (D'après l'ARS)	Aucune
Cavités souterraines	La base de données Géorisques du BRGM ne recense aucune cavité souterraine dans un rayon de 2 km autour projet.	A priori aucune
Zone inondable	Le site du projet n'est pas situé en zone à risque d'inondation de cave ou de débordement de nappe.	Aucune
Code Minier	<u>Zone rouge pour le procédé sur sondes pour les gammes de profondeur allant de 10 à 200 m</u>	<u>Projet non éligible à la géothermie de minime importance (voir §D.2.)</u>
	Zone orange pour le procédé sur nappe pour les gammes de profondeur allant de 10 à 200 m	Un avis d'expert GMI rendu favorable sera nécessaire avant la réalisation des travaux de forage (voir §D.2.)
Conformité au SDAGE et au SAGE	Pour le procédé sur nappe, l'intégralité des eaux souterraines prélevées devront être réinjectées dans le même aquifère.	Aucune
Zone de Répartition des Eaux (ZRE) Nappe classée NAEP (Nappes réservées à l'Alimentation en Eau Potable)	Le projet est concerné par la ZRE « système aquifère du Cénomanien » Le projet est concerné par quatre NAEP à savoir : les masses d'eau FRGG073 (jurassique supérieur), FRGG067 (Dogger), FRGG130(Lias) et FRGG131(Trias)	<u>Pour le procédé sur nappe :</u> Consulter l'agence de l'eau si la nappe retenue est la NAEP des calcaires de l'Oxfordien <u>Pour le procédé sur sondes :</u> La profondeur maximale des forages est limitée à la NAEP des calcaires de l'Oxfordien (voir §D.1.)
Site Natura 2000	Le projet n'est pas dans l'emprise d'un site classé Natura 2000.	Aucune
Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF)	Le projet n'est pas dans l'emprise d'un site classé en ZNIEFF.	Aucune
Zone humide	Le projet n'est pas dans l'emprise d'une zone humide effective ou potentielle.	Aucune
BASIAS/BASOL	Il n'existe pas de site BASOL et BASIAS dans un rayon de 2 km autour du projet.	Aucune

Tableau 4: Récapitulatif des contextes environnemental et réglementaire au droit du projet

D.1. SCHEMA DIRECTEUR D'AMENAGEMENT ET GESTION DES EAUX (SDAGE)

Des schémas de gestion peuvent être élaborés pour les masses d'eau des nappes à réserver pour l'alimentation en eau potable afin de préciser les prélèvements, autres que ceux pour l'alimentation en eau potable par adduction publique, qui peuvent être permis à l'avenir. Ils identifient les mesures de préservation de la qualité et de la quantité de l'eau nécessaire à la satisfaction de ces besoins futurs et d'éventuelles mesures permettant d'accompagner l'adaptation des activités humaines. **Le projet est concerné par les SDAGE Loire-Bretagne et Seine-Normandie. Les conditions spécifiques à la géothermie sont précisées par la disposition 6E-4 du SDAGE Loire-Bretagne.**

D'après ce SDAGE, l'usage de la géothermie devrait privilégier les solutions techniques, adaptées au projet considéré, pour lesquelles les forages n'atteignent ou ne traversent pas les NAEP.

En particulier, en présence d'une nappe sus-jacente à une NAEP, disponible pour un usage de géothermie :

- les forages de géothermie ne devront pas atteindre la NAEP,
- pour les échangeurs sur sonde (échangeurs géothermiques fermés), la profondeur de l'échangeur est limitée à la dernière formation géologique qui précède la NAEP et à la couche géologique imperméable qui la protège lorsqu'elle existe.

En l'absence d'autres nappes ou alternatives, si l'activité de géothermie ne peut être réalisée que sur une NAEP ou en lien avec cette nappe, elle est soumise aux conditions suivantes :

- le choix du type de géothermie devra permettre de limiter au maximum le nombre de forages ;
- pour les échangeurs sur sonde, la profondeur de l'échangeur est limitée à la première formation géologique NAEP.

Dans tous les cas les forages sont réalisés strictement selon les prescriptions techniques réglementaires notamment en matière de cimentation permettant l'isolement des aquifères traversés et pour les échangeurs sur nappe (échangeurs géothermiques ouverts), les quantités d'eau prélevées sont intégralement réinjectées sans altération de la qualité dans le même horizon géologique.

Les schémas de gestion des NAEP peuvent prévoir des prescriptions particulières pour limiter ou encadrer les activités de géothermie sur les NAEP, en fonction de la dynamique et de l'impact cumulé du développement prévus ou constatés.

Le projet est concerné par quatre NAEP (FIGURE 7) à savoir :

- La nappe des calcaires de l'Oxfordien du Jurassique supérieur (masse d'eau FRGG073) ;
- La nappe des calcaires du Dogger du Jurassique moyen (masse d'eau FRGG067) ;
- La nappe des calcaires du Lias du Jurassique inférieur (masse d'eau FRGG130) ;
- La nappe des grès et arkoses du Trias (masse d'eau FRGG131).

Pour la solution sur nappe, les forages seront réalisés dans les règles de l'art et les quantités d'eau prélevées seront intégralement réinjectées dans la même formation aquifère.

L'aquifère capté sera celui du Cénomaniens qui, bien que classé en ZRE, ne fait pas l'objet de prescription particulière dans le SDAGE ou le SAGE. Toutefois, si la nappe du Cénomaniens s'avère peu favorable et que la NAEP des calcaires de l'Oxfordien est retenue pour la géothermie, il faudra consulter l'agence de l'eau pour avis avant les travaux de forages.

Pour la solution sur sondes, il n'y a pas de prélèvement d'eau à effectuer. D'après la réglementation, la profondeur des sondes devra être limitée à la formation des argiles du Cénomanien inférieur correspondant à la couche géologique imperméable qui protège les formations aquifères du Jurassique supérieur, ce qui correspondrait probablement à des sondes de maximum 85 m de profondeur.

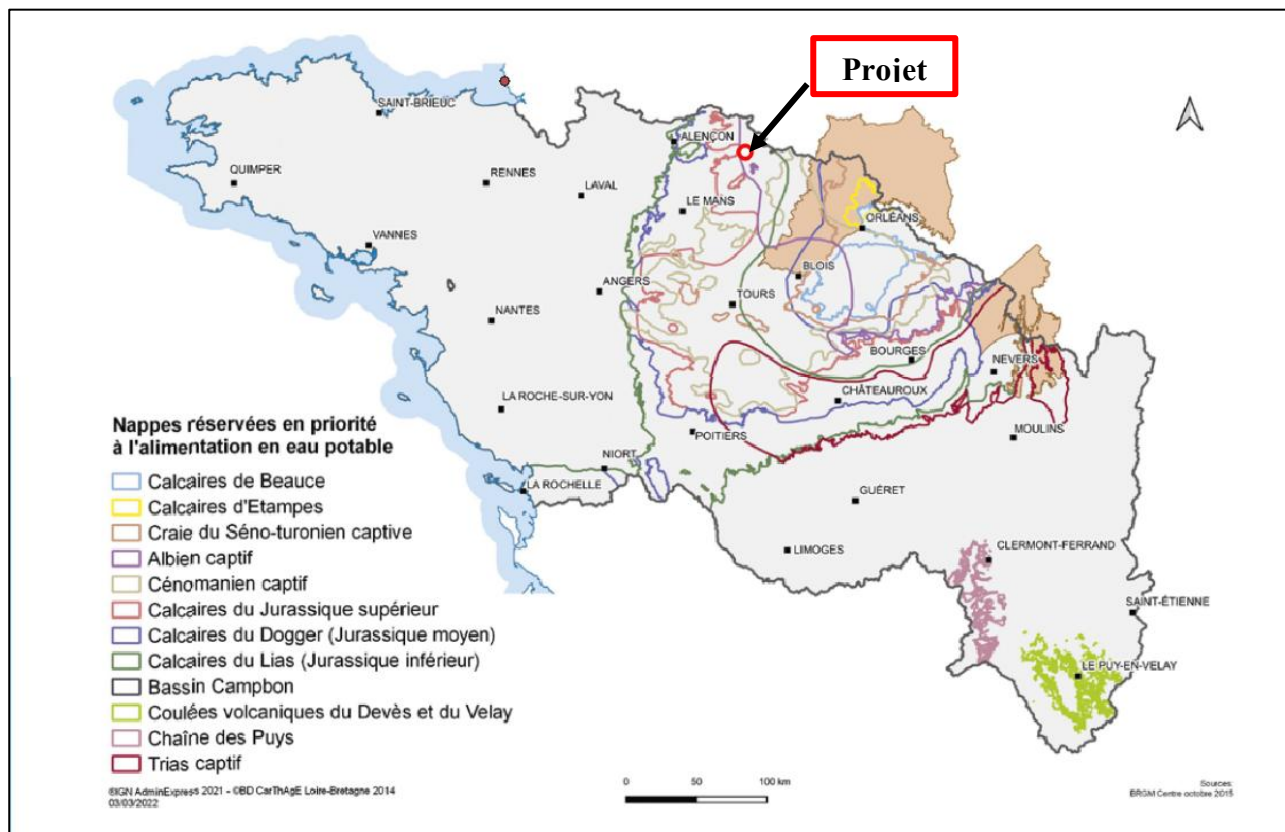


Figure 7: Nappes réservées en priorité à l'alimentation en eau potable

D.2. CODE MINIER DE MINIME IMPORTANCE

Le **TABLEAU 5** ci-après décrit les différents régimes administratifs en fonction des différents types de géothermies et de leurs conditions générales de mise en œuvre et d'exploitations (profondeur des échangeurs, puissance extraite au sous-sol, ...).

Le projet de chauffage du château de la Beuvrière à Perche-en-Nocé est concerné par les échangeurs géothermiques fermés. D'après les cartes des zones réglementaires en matière de géothermie de minime importance (voir l'extrait en **FIGURE 8** et **FIGURE 9**), le site est situé en **zone orange pour le procédé sur nappe** pour les gammes de profondeur allant de 10 à 200 mètres et en **zone rouge pour le procédé sur sondes** pour les gammes de profondeur allant de 10 à 200 m. Par conséquent :

- Si le procédé sur nappe est retenu par la Maîtrise d'Ouvrage, l'installation nécessitera au préalable une déclaration au titre du Code Minier de Minime Importance et **un avis d'expertise rendu favorable avant travaux**. Cette classification en « zone orange » résulte de l'identification des risques suivants :
 - **Cavité** : la note de 1 est attribuée à la maille car l'aquifère crayeux présent au droit de la commune est susceptible de contenir des cavités. Un facteur multiplicateur de 2 est appliqué à ce critère dans le cas des procédés sur nappe et sondes.

- **Artésianisme** : la note de 7 est attribuée à la maille en raison de la présence d'un aquifère artésien connu dont la puissance est supérieure à 5 m (c'est-à-dire le niveau piézométrique de la nappe se situe plus de 5 m au-dessus du sol en période de basses-eaux) ; Un facteur multiplicateur de 2 est appliqué à ce critère dans le cas du procédé sur nappe.
- **Communication d'aquifère** : la note de 4 est attribuée à la maille en raison de la présence de plusieurs aquifères dont une ressource stratégique NAEP³ dans l'intervalle considéré. Un facteur multiplicateur de 4 est appliqué à ce critère dans le cas des procédés sur sondes et nappe.

Ainsi, en additionnant les notes données à ces critères, nous obtenons une note finale de 32 pour le procédé sur nappe.

$$\text{Cavité (1}\times\text{2)} + \text{Artésianisme (7}\times\text{2)} + \text{Communication aquifère (4}\times\text{4)} = 32$$

- Si le procédé sur sondes est retenu par la Maîtrise d'Ouvrage, **l'installation n'est pas éligible à la GMI et elle est soumise à une demande d'autorisation au titre du code minier**. Cette classification en « zone rouge » résulte de l'identification des risques suivants :
 - **Cavité** : la note de 1 est attribuée à la maille car l'aquifère crayeux présent au droit de la commune est susceptible de contenir des cavités. Un facteur multiplicateur de 2 est appliqué à ce critère dans le cas des procédés sur nappe et sondes.
 - **Artésianisme** : la note de 7 est attribuée à la maille en raison de la présence d'un aquifère artésien connu dont la puissance est supérieure à 5 m (c'est-à-dire le niveau piézométrique de la nappe se situe plus de 5 m au-dessus du sol en période de basses-eaux ; Un facteur multiplicateur de 4 est appliqué à ce critère dans le cas du procédé sur sondes.
 - **Communication d'aquifère** : la note de 4 est attribuée à la maille en raison de la présence de plusieurs aquifères dont une ressource stratégique NAEP dans l'intervalle considéré. Un facteur multiplicateur de 4 est appliqué à ce critère dans le cas des procédés sur sondes et nappe.

Ainsi, en additionnant les notes données à ces critères, nous obtenons une note finale de 46 pour le procédé sur sondes.

$$\text{Cavité (1}\times\text{2)} + \text{Artésianisme (7}\times\text{4)} + \text{Communication aquifère (1}\times\text{4)} = 46$$

³ Nappes à réserver pour l'alimentation en eau potable

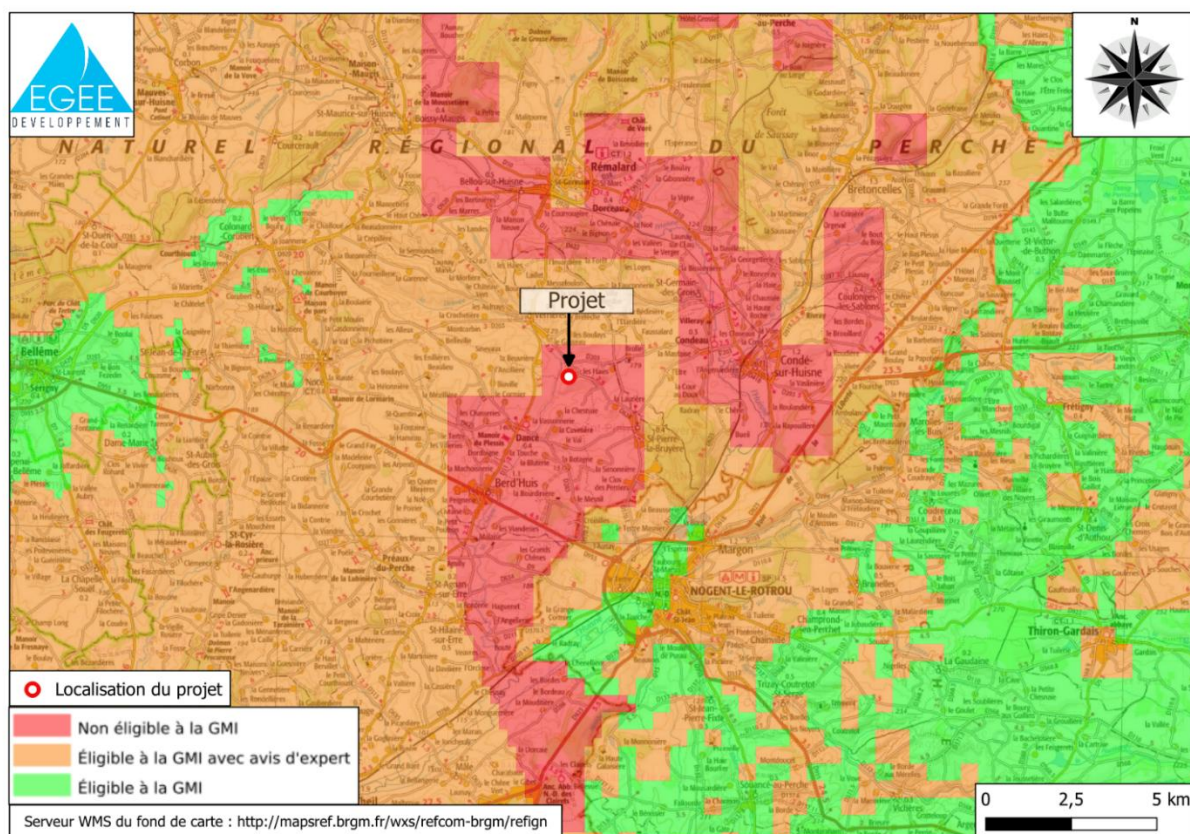


Figure 8 : Extrait de la carte des zones réglementaires de géothermie de minime importance pour les échangeurs fermés (Géothermies.fr)

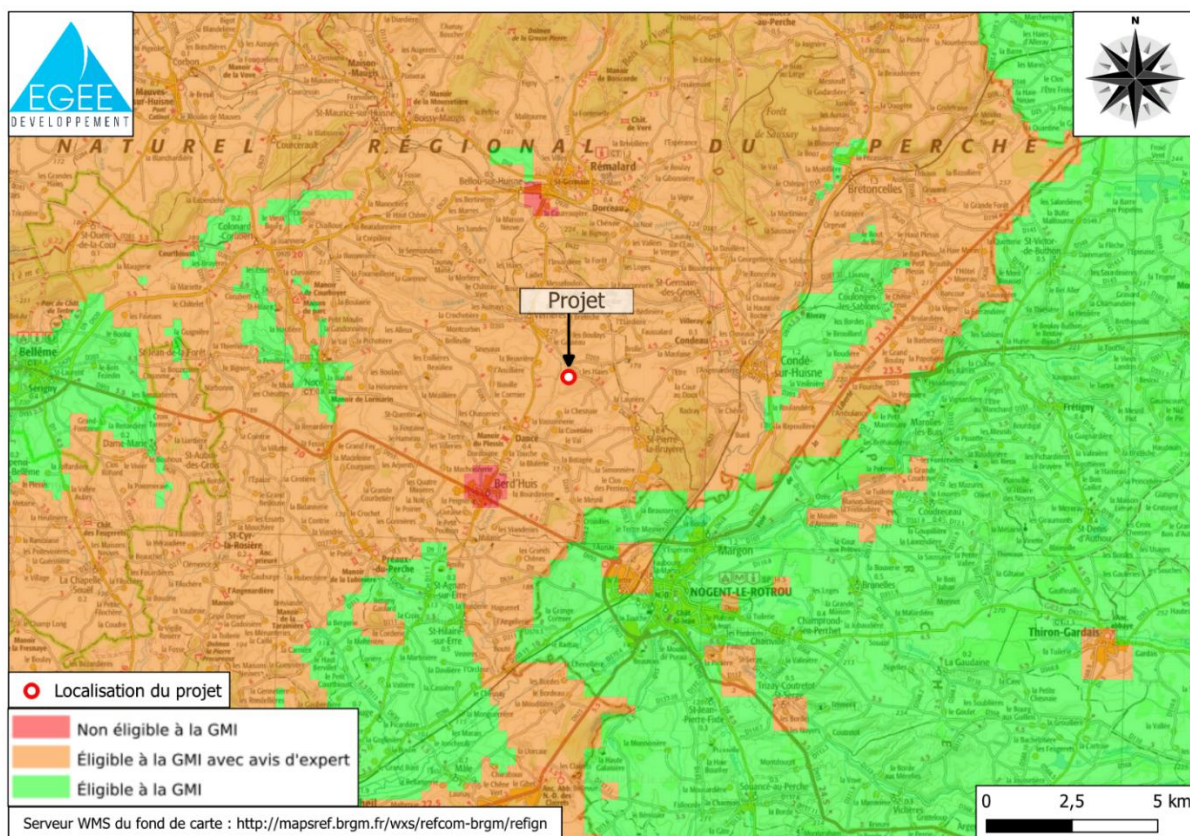


Figure 9: Extrait de la carte des zones réglementaires de géothermie de minime importance pour les échangeurs ouverts (Géothermies.fr)

Type de géothermie	Conditions générales	Régime administratif
Géothermie avec puits canadiens ou géostructures thermiques	Aucune	Code minier non applicable (*)
Géothermie avec des échangeurs thermiques horizontaux ou hybrides (corbeilles)	Profondeur < à 10 m	Code minier non applicable (*)
Échangeurs géothermiques ouverts	Profondeur < à 10 m et Puissance < 500 kW et Débit < 80 m³/h Réinjection dans la même nappe	Code minier non applicable (*)
	Profondeur de 10 m à 200 m et Puissance < 500 kW et Débit < 80 m³/h Réinjection dans la même nappe et Zone verte ou orange	Déclaration simplifiée
	Profondeur de > 200 m ou Puissance > 500 kW ou Débit > 80 m³/h ou Pas de réinjection dans la même nappe ou Zone rouge	Autorisation instruite par les services de l'Etat
Échangeurs géothermiques fermés	Profondeur de 10 m à 200 m et Puissance < 500 kW et Zone verte ou orange	Déclaration simplifiée
	Profondeur de > 200 m ou Puissance > 500 kW ou Zone rouge	Autorisation instruite pas les services de l'Etat
Code minier non applicable (*)	Déclaration simplifiée	Autorisation instruite par les services de l'état

Tableau 5: Régimes d'application des installations géothermiques de minime importance

D.3. PHENOMENE « AFFAISSEMENT/EFFONDREMENT LIES AUX CAVITES (HORS MINES) »

Rappel :

La présence de 2 cavités d'origine non minière recensées dans la maille et la présence d'une formation géologique susceptible d'en contenir explique la note de 1 attribuée à ce critère. Un facteur multiplicateur de 2 est appliqué à ce critère dans le cas des procédés sur sondes et nappe.

Avis :

Aucune cavité naturelle ou anthropique (autre que minière) et aucun mouvement de terrain localisé et non localisé ne sont recensés dans les bases de données à moins de 500 mètres autour du projet.

La commune de Perche-en-Nocé ne dispose d'aucun Plan de Prévention des Risques (PPR) Mouvements de terrains mis en œuvre ou en cours d'élaboration.

Afin de prendre en compte les lacunes dans la connaissance de l'existence de cavités souterraines, un aléa faible a été retenu au droit des formations postérieures au Jurassique dans cette cartographie.

Ainsi d'après les données locales, la présence de cavités souterraines apparaît peu probable.

Prescription :

De ce fait, aucune prescription particulière n'est apportée concernant cet aléa.

D.4. PHENOMENE « ARTESIANISME »

Rappel :

La note de 7 est attribuée à la maille en raison de la présence d'un aquifère artésien connu dont la puissance est supérieure à 5 m (c'est-à-dire le niveau piézométrique de la nappe se situe plus de 5 m au-dessus du sol en période de basses-eaux) ; Un facteur multiplicateur de 4 est appliqué à ce critère dans le cas du procédé sur sondes et un facteur de 2 pour le procédé sur nappe.

Avis :

Ce phénomène correspond à l'aptitude d'un aquifère captif à permettre la remontée d'eau spontanée par des ouvrages (puits, forages), caractéristique nommée l'artésianisme. Cette remontée d'eau en surface peut ainsi entraîner des écoulements d'eau sur le sol, et/ou une déstabilisation d'une formation superficielle. L'aquifère concerné a ainsi une surface piézométrique située au-dessus de la surface du sol.

D'après l'examen du contexte géologique et hydrogéologique, les nappes de la craie du Cénomanién et des calcaires de l'Oxfordien présentes sur la tranche des 100 premiers mètres de profondeur ne sont pas artésiennes au droit du projet.

Le référentiel LISA mentionne la présence de l'aquifère des Sables indifférenciés et argiles de l'Apto-Albien sous les argiles du Cénomanién inférieur. Le projet est situé en limite de la carte piézométrique de l'Albien (**FIGURE 6**). Celle-ci indique un niveau piézométrique d'environ +167 m NGF au droit du projet, soit 7 m au-dessus du terrain naturel (si l'on considère une altitude moyenne des terrains de +160 m NGF au droit du projet).

Toutefois, le projet est situé en limite d'extension latérale de l'aquifère des Sables de l'Albien (**FIGURE 5**) et les sondages référencés dans le secteur du projet ne mettent pas en évidence sa présence (**ANNEXE 2**). **Sur la base de ces informations, nous estimons que l'aquifère artésien de l'Albien n'est pas présent au droit du projet. A cet effet, le phénomène d'artésianisme n'est pas avéré au droit du projet.**

Prescription :

De ce fait, aucune prescription particulière n'est apportée concernant cet aléa.

D.5. PHENOMENE « MISE EN COMMUNICATION DES EAUX SOUTERRAINES ENTRE DIFFERENTS
AQUIFERES »

Rappel :

La présence de plus d'un aquifère dans l'intervalle de profondeur considéré, dont un considéré comme ressource stratégique NAEP, explique la note de 4 attribuée à ce critère. Un facteur multiplicateur de 4 est appliqué à ce critère dans le cas du procédé sur sondes verticales.

Avis :

D'après l'examen du contexte géologique et hydrogéologique, deux formations aquifères pérennes sont présentes au droit du projet dans la tranche des 100 premiers mètres de profondeur, à savoir la craie du Cénomanién et les calcaires de l'Oxfordien supérieur (classée en NAEP).

Au regard de la coupe géologique prévisionnelle, le toit des calcaires de l'Oxfordien est situé entre +61 et +76 m NGF, soit entre 86 et 99 m de profondeur. Le projet prévoit la création de sondes de 70 m de profondeur, soit 15 m au-dessus du toit des Calcaires de l'Oxfordien. Ainsi, une seule formation aquifère sera recoupée et les travaux de foration n'induiront aucune communication entre aquifères, ni atteinte de la nappe classée NAEP.

Prescription :

Dans le cas où le toit des calcaires de l'Oxfordien supérieur (NAEP) est toutefois rencontré à plus faible profondeur, l'entreprise de forage devra prendre les mesures nécessaires pour limiter au maximum la mise en communication des différentes eaux souterraines en enchainant successivement les différentes phases de mises en œuvre : foration, descente de la sonde, cimentation sur toute la hauteur.

E. APPROCHE TECHNIQUE

Afin de finaliser la pertinence d'un projet de Géothermie de Minime Importance sur nappe ou sur sondes verticales, il est nécessaire de croiser le potentiel de la ressource du sous-sol avec les besoins du site.

A ce stade du projet, la puissance d'appel du bâtiment a été estimée par le bureau d'études BETHERM à 90 kW.

E.1. PREDIMENSIONNEMENT D'UNE SOLUTION DE GEOTHERMIE SUR SONDE

Sur la base des besoins transmis par BETHERM, une première approche d'adéquation des besoins à la ressource pour le procédé sur sonde a été réalisée à l'aide du logiciel de modélisation EED.

E.1.1. Méthode de dimensionnement

Dans le système d'un chauffage par Pompe À Chaleur géothermique sur sondes verticales (ou champ de sondes), la chaleur est extraite du sous-sol grâce à un fluide caloporteur (eau glycolée) qui circule dans les sondes verticales. Ce fluide, une fois réchauffé au contact du sol encaissant, est acheminé jusqu'à la PAC géothermique. Celle-ci prélève la chaleur de l'eau glycolée, et par une succession de cycles thermodynamiques, restitue la chaleur au fluide du système de chauffage du bâtiment (radiateurs basse température ou plancher chauffant idéalement).

Cette ressource durable et respectueuse de l'environnement ne peut l'être qu'avec une conception efficiente et juste. Le logiciel EED (*Earth Energy Designer*), utilisé pour la géomodélisation, permet cette conception du procédé géothermique sur sondes verticales.

Afin de calculer le nombre de sondes adéquates, leur profondeur et estimer leur configuration géométrique idéale, la géomodélisation a nécessité les données suivantes :

- Les données thermiques : elles correspondent aux estimations des besoins du projet faites par BETHERM ;
- Les données techniques de la sonde géothermique : elles correspondent aux caractéristiques détaillées des sondes géothermiques verticales qui seront à réaliser pour ce projet ;
- Les données du sous-sol : en l'absence d'un Test de Réponse Thermique réalisé sur une sonde géothermique dans le secteur d'études et dans un contexte géologique similaire, nous prendrons des valeurs standards issues de la bibliographie, en cohérence avec le contexte local.

E.1.2. Paramètres de dimensionnement

L'approche de dimensionnement a été établie avec les hypothèses de calculs présentées dans les **TABEAU 6** ET **TABEAU 7**.

PARAMETRES		Scénarios d'étude
BESOINS THERMIQUES	Puissance de la PAC	90 kW
	Nombre d'heures de fonctionnement à la puissance nominale	1500 heures soit une énergie côté bâtiment de 135 MWh/an

PARAMETRES		Scénarios d'étude
	Taux de couverture de la géothermie	100%
	COP de la PAC ⁴	4
	Puissance côté sous-sol	68 kW
	Energie côté sous-sol	101 MWh/an
FORAGE ET ECHANGEUR DE CHALEUR	Diamètre du forage	157 mm
	Profondeur	70 mètres
	Espacement prévu entre les sondes (m)	10
	Type	Double-U
	Diamètre extérieur (mm)	32
	Épaisseur des tuyaux (mm)	3
	Liquide caloporteur	Monopropylenglycole 33%
	Débits de circulation eau-glycolée ⁵	6 l/s
	Résistance thermique de la sonde	0,1 m.K.W ⁻¹
PROPRIETES DU TERRAIN	Conductivité thermique	1,8 W.m ⁻¹ . K ⁻¹
	Capacité thermique volumique	2,2 MJ.m ⁻³ . K ⁻¹
	Température initiale du sous-sol	13,5°C ⁶
MATERIAU DE CIMENTATION	Conductivité thermique (W/m. K)	2,00
CONTRAINTES DE TEMPERATURE	Minimale ⁷	-1°C
	Maximale	22°C

Tableau 6: hypothèses et paramètres de dimensionnement du champ de sondes

⁴ D'après le CCTP de l'ADEME, pour une PAC sur sondes, le projet est éligible aux aides si le COP est supérieur ou égal à 4(dans les conditions d'essais de la norme européenne EN 14511-2 en régimes de température 0/-3°C et 30/35°C).

⁵ Le débit d'eau glycolée doit respecter les recommandations du fabricant de la pompe à chaleur. A titre d'exemple, les fiches techniques des pompes à chaleur de type eau glycolée/eau de la marque WEISHAUPT d'une puissance de 90 à 130 kW (réf : WWP S 90 ID et WWP S 130 ID), font mention d'un débit minimal d'eau glycolée compris entre 17,1 et 27,3 m³/h (entre 4,75 et 7,6 l/s), pour une température de sortie au condenseur de 55°C. Dans le cas où ce débit de circulation viendrait à être modifié, une nouvelle géomodélisation devra être réalisée afin de s'assurer de respecter les contraintes de températures évoquées.

⁶ D'après géothermie.fr

⁷ Réglementairement, les températures minimale et maximale du fluide circulant dans le champ de sondes verticales sont de -3°C et +40°C. On se place dans des conditions plus exigeantes par mesure sécurité.

Mois	REPARTITION DES BESOINS EN CHAUFFAGE EN %	SCENARIO D'ETUDE	
		REPARTITION DES BESOINS EN CHAUFFAGE EN MWh	NOMBRE D'HEURE DE POINTE (90 kW)
Janvier	25	34	4 h
Février	20	27	2 h
Mars	15	20	1 h
Avril	10	13,5	-
Mai	-	-	-
Juin	-	-	-
Juillet	-	-	-
Aout	-	-	-
Septembre	-	-	-
Octobre	-	-	-
Novembre	10	13,5	2 h
Décembre	20	20	4 h
Total	100	135	13 h

Tableau 7 : hypothèse de répartition des besoins thermiques annuels

E.1.3. Résultats de la géomodélisation

La simulation a été réalisée sur une période de 50 ans avec l'hypothèse d'une mise en service à partir du mois de janvier.

La géomodélisation a démontré qu'un champ de **30 sondes de 70 mètres de profondeur chacune avec une géométrie en rectangle serait la configuration optimale. L'espacement entre les sondes devra être de 10 mètres.**

Dans cette configuration, lors de la 50^{ème} année d'exploitation, la température la plus basse du fluide circulant dans le champ de sondes est de **-1,3 °C en hiver**, et la température la plus haute du fluide est de **+9 ,8°C à la fin de l'été**. D'après ces résultats, ce champ de sondes présente un système qui tend à se stabiliser sur le long terme : les températures minimale et maximale recommandées sont respectées permettant ainsi une régénération thermique du sous-sol acceptable.

De plus, la différence de température entre l'entrée et la sortie du champ de sondes reste inférieure à 3°C. Ce qui permet un bon fonctionnement de la PAC.

Il est important de noter qu'il s'agit d'une première approche de dimensionnement se basant sur un fonctionnement de la PAC à la puissance nominale sur 1 500 heures.

En fonction des besoins réelles du projet et du nombre d'heures de fonctionnement à l'année du système, ce résultat est susceptible de changer. Afin de dimensionner au mieux le champ de sondes, il sera nécessaire de réaliser une Simulation Thermique du bâtiment permettant de connaître plus précisément les besoins du projet.

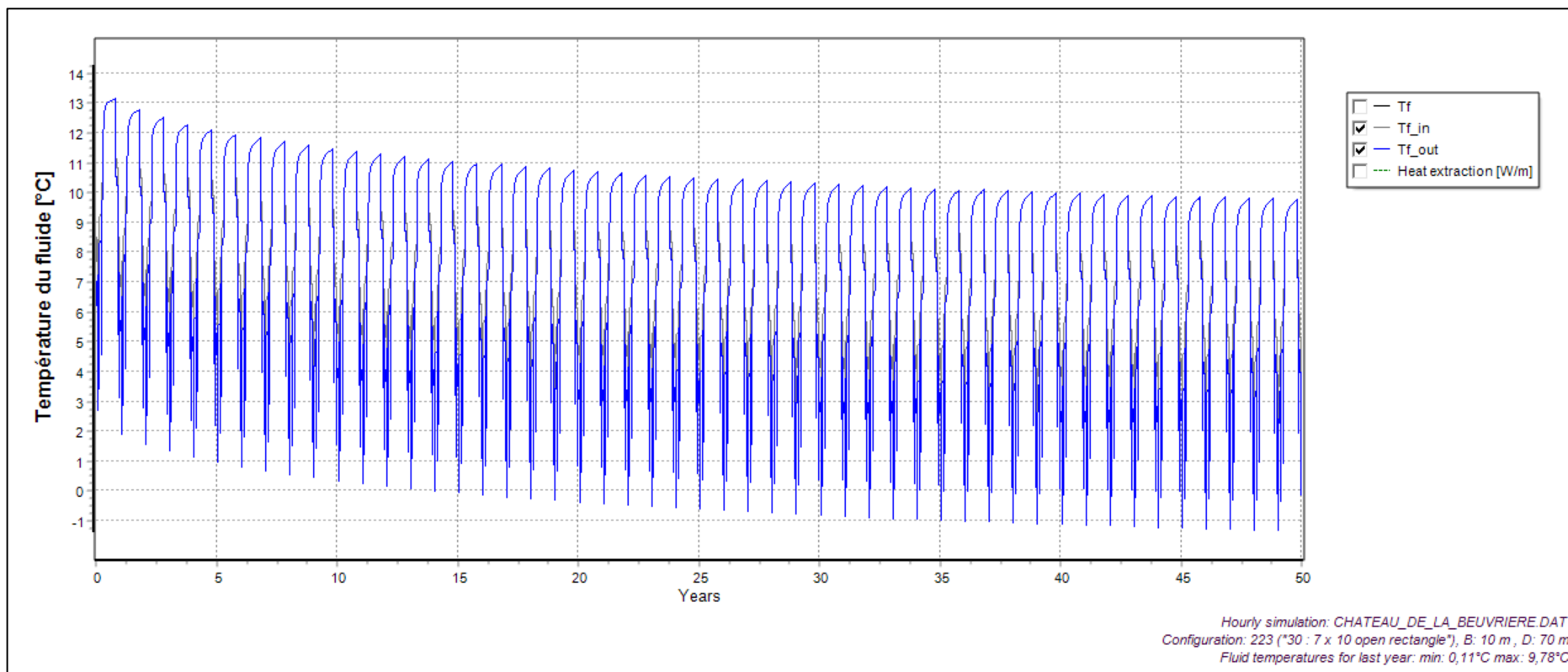


Figure 10: Graphique représentant l'évolution de la température en entrée et sortie de PAC du fluide circulant dans les sondes sur 50 années d'exploitation

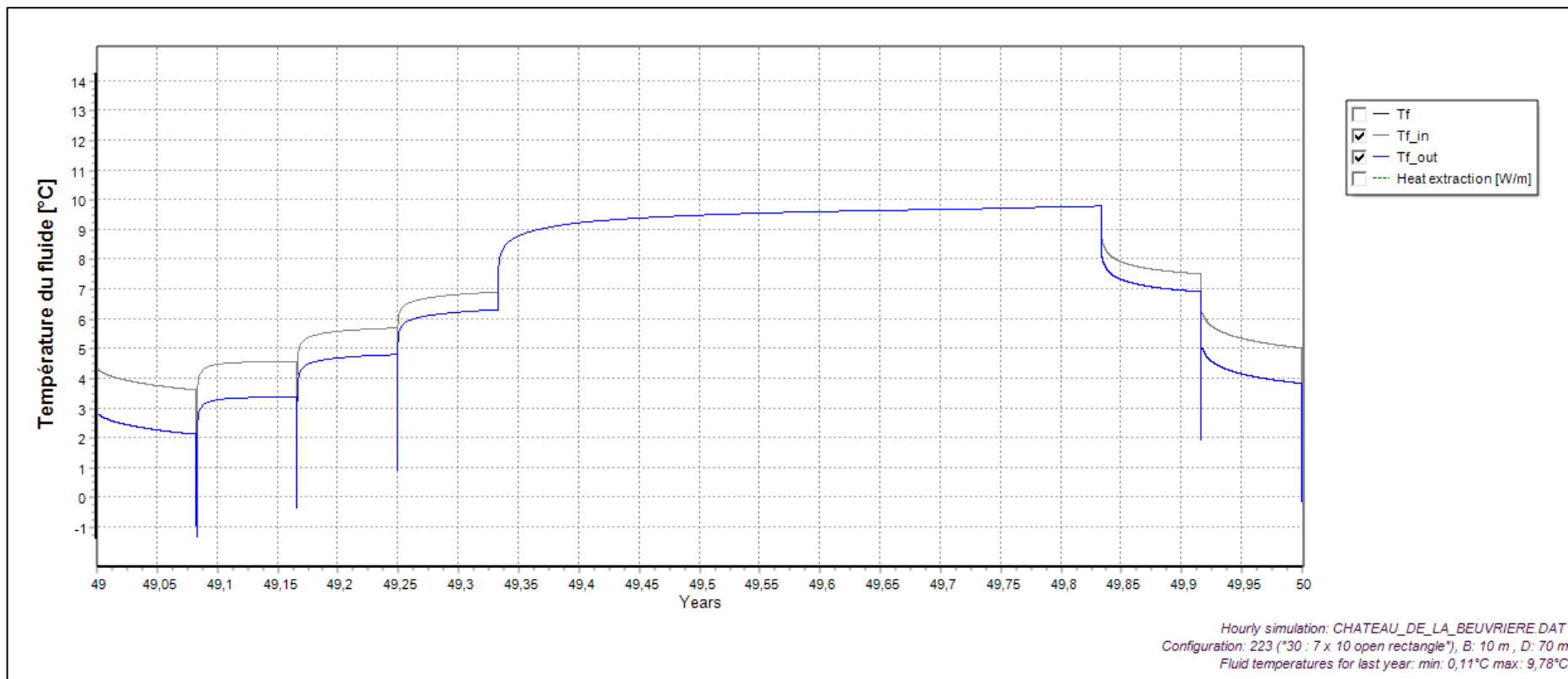


Figure 11: Graphique représentant l'évolution de la température en entrée et sortie de PAC du fluide circulant dans les sondes lors de la 50ème année d'exploitation

E.1.4. Implantation du champ de sondes géothermiques

Une proposition d'implantation d'un champ de 30 sondes géothermiques verticales est présentée en **FIGURE 12**. Ce plan d'implantation prévisionnel ne prend pas en compte la présence des réseaux enterrés et devra être validé en phase de conception/réalisation.

Une fois réalisées, les sondes sont invisibles depuis la surface. Seule la chambre collectrice présente un regard. La présence d'un champ de sondes est tout à fait compatible avec un parking et des voiries.

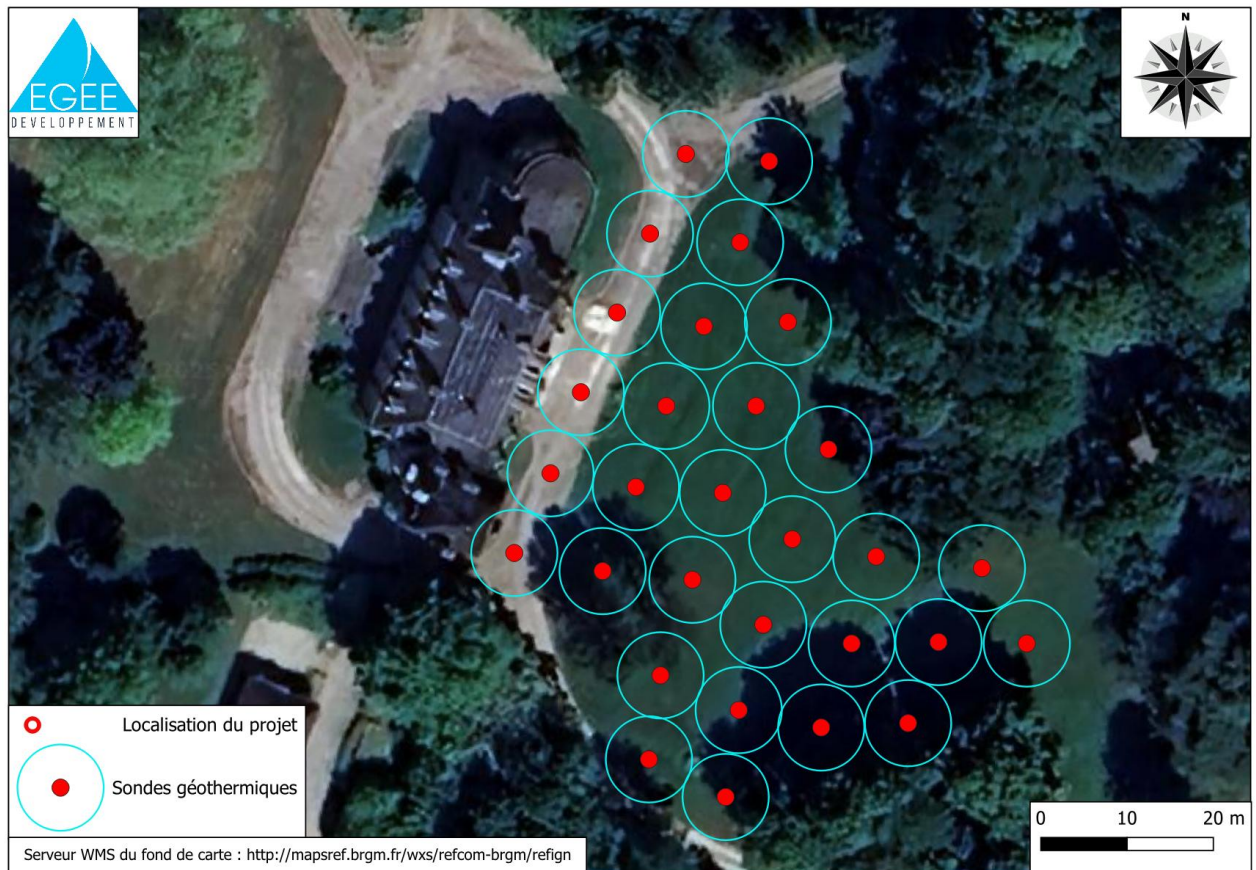


Figure 12: Plan d'implantation prévisionnel de 30 sondes géothermiques sur fond de vue aérienne

E.2. PREDIMENSIONNEMENT D'UNE SOLUTION DE GEOTHERMIE SUR NAPPE

L'analyse des contextes géologique et hydrogéologique présentés dans les paragraphes B.2 et B.3, a mis en évidence la présence des nappes de la craie du Cénomanien et des calcaires de l'Oxfordien dans la tranche des 100 premiers mètres de profondeur au droit du projet. A proximité du projet, il n'y a pas de données d'essais de pompage sur des forages qui permettraient d'estimer la productivité de ces aquifères. Toutefois, des forages situés un peu plus loin (l'un à 2,7 km, captant la nappe des calcaires de l'Oxfordien et l'autre à 6 km, captant la nappe de la craie du Cénomanien), mentionnent une bonne productivité avec des débits d'exploitation supérieur à 40 m³/h.

La puissance maximale nécessaire côté sous-sol et le débit maximal d'exploitation ont été calculés à partir des formules suivantes :

$$P_{Géothermique} = P_{Calorifique} \times \left(1 - \frac{1}{COP}\right)$$

$$Q = \frac{P_{Géothermique}}{1,16 \times \Delta T}$$

Avec :

- P géothermique, la puissance maximale coté sous-sol en kW ;
- P calorifique, la puissance maximale de la PAC en kW ;
- COP, le coefficient de performance théorique (retenu à 4,5⁸) ;
- Q, le débit d'exploitation de pointe (en m³/h) ;
- ΔT, la variation de température de l'eau entre le pompage et le rejet (retenue à -5°)

Le TABLEAU 8 présente le débit maximal nécessaire pour satisfaire la puissance d'appel de chauffage maximale :

Scénarios d'études	Puissance côté bâtiment	COP	Puissance côté sous-sol	Débit de pointe sur nappe
Chauffage	90 kW	4,5	70 kW	12 m ³ /h

Tableau 8: Estimation du nombre de forage géothermique nécessaire sur la base du débit potentiel d'exploitation

D'après ces calculs si le sous-sol est en mesure d'offrir un débit d'au moins 12 m³/h, un seul doublet pourrait être suffisant pour couvrir 100 % des besoins du projet.

Si le procédé sur nappe est retenu, il serait pertinent de viser l'aquifère de la craie moins profond. Des analyses d'eau devront être réalisées afin de vérifier si la qualité de la nappe est satisfaisante pour un usage de géothermie. Toutefois, du fait d'un manque de données, la productivité des nappes identifiées (Cénomanien / Calcaire) est incertaine et ne permet pas d'être finement estimée et d'assurer qu'un débit suffisant sera disponible au droit du projet. Le procédé sur nappe semble peu pertinent et trop incertain afin de garantir la réussite du projet.

⁸ D'après le CCTP de l'ADEME, pour une PAC sur nappe utilisé pour le chauffage et l'ECS, le projet est éligible aux aides si le COP est supérieur ou égal à 4,5 (dans les conditions d'essais de la norme européenne EN 14511-2 en régimes de température 0/-3°C et 30/35°C).

F. CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS

Au regard de l'analyse documentaire réalisée au droit et aux alentours du site, il résulte que le projet de création de sondes géothermiques verticales au droit du château de la Beuvrière sur la commune de Perche-en-Nocé respecte les prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance et ne présente pas d'incompatibilité avec son environnement sous réserves de respecter les préconisations émises.

Les aléas « Affaissement/effondrement liés aux cavités (hors mines) » et « artésianisme » ne sont pas avérés au droit du futur champ de sondes.

D'après la coupe géologique prévisionnelle au droit du site, si **la profondeur des sondes géothermiques est limitée à 70 m**, seul l'aquifère du Cénomaniens devrait être traversé. Dans ces conditions, les travaux de foration n'induiront aucune communication entre aquifères, ni atteinte de la nappe des calcaires de l'Oxfordien classée NAEP. Cette profondeur respectera également les préconisations du SDAGE qui stipule qu'en absence d'autres nappes ou alternatives, si l'activité de géothermie ne peut être réalisée qu'en lien avec cette nappe, l'installation est soumise aux conditions suivantes :

- le choix du type de géothermie devra permettre de limiter au maximum le nombre de forages ;
- pour les échangeurs sur sonde, la profondeur de l'échangeur est limitée à la première formation géologique NAEP.

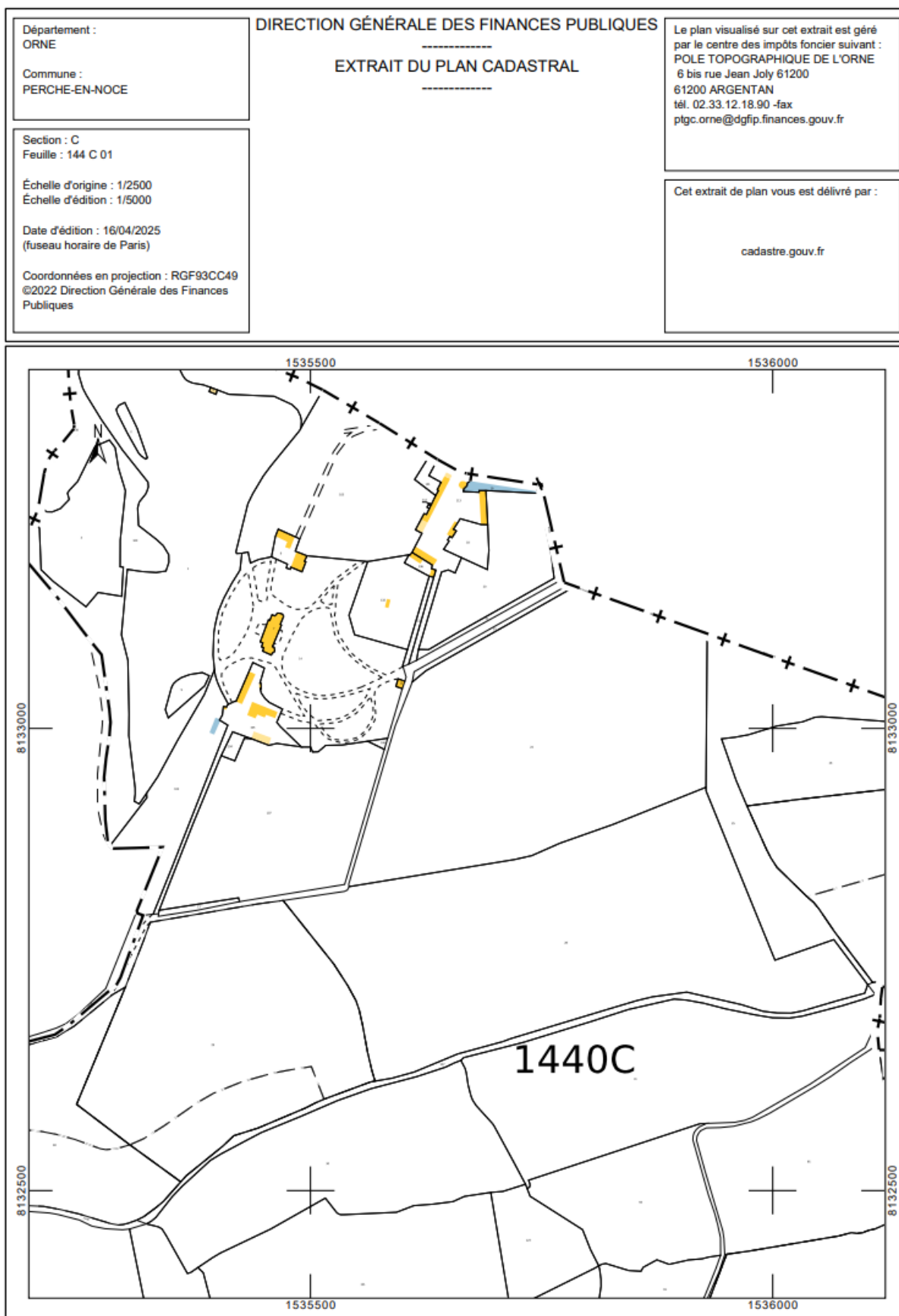
La géomodélisation a démontré qu'un champ de 30 sondes de 70 mètres de profondeur chacune avec une géométrie en « U » serait la configuration optimale. L'espacement entre les sondes devra être de 10 mètres.

Ainsi, sous réserve du respect de la réglementation, de la norme AFNOR NF X 10-970 relative au « Forage d'eau et de géothermie - Sonde géothermique verticale (échangeur géothermique vertical en U avec liquide caloporteur en circuit fermé) - Réalisation, mise en œuvre, entretien, abandon » et la norme AFNOR NF EN 17522 « Conception et construction de sondes géothermiques verticales comblées et remplies de coulis », nous émettons un **avis favorable** à la création des sondes géothermiques verticales du projet **sous réserve de respecter les préconisations susmentionnées**.

Villeneuve d'Ascq, le 26 août 2025

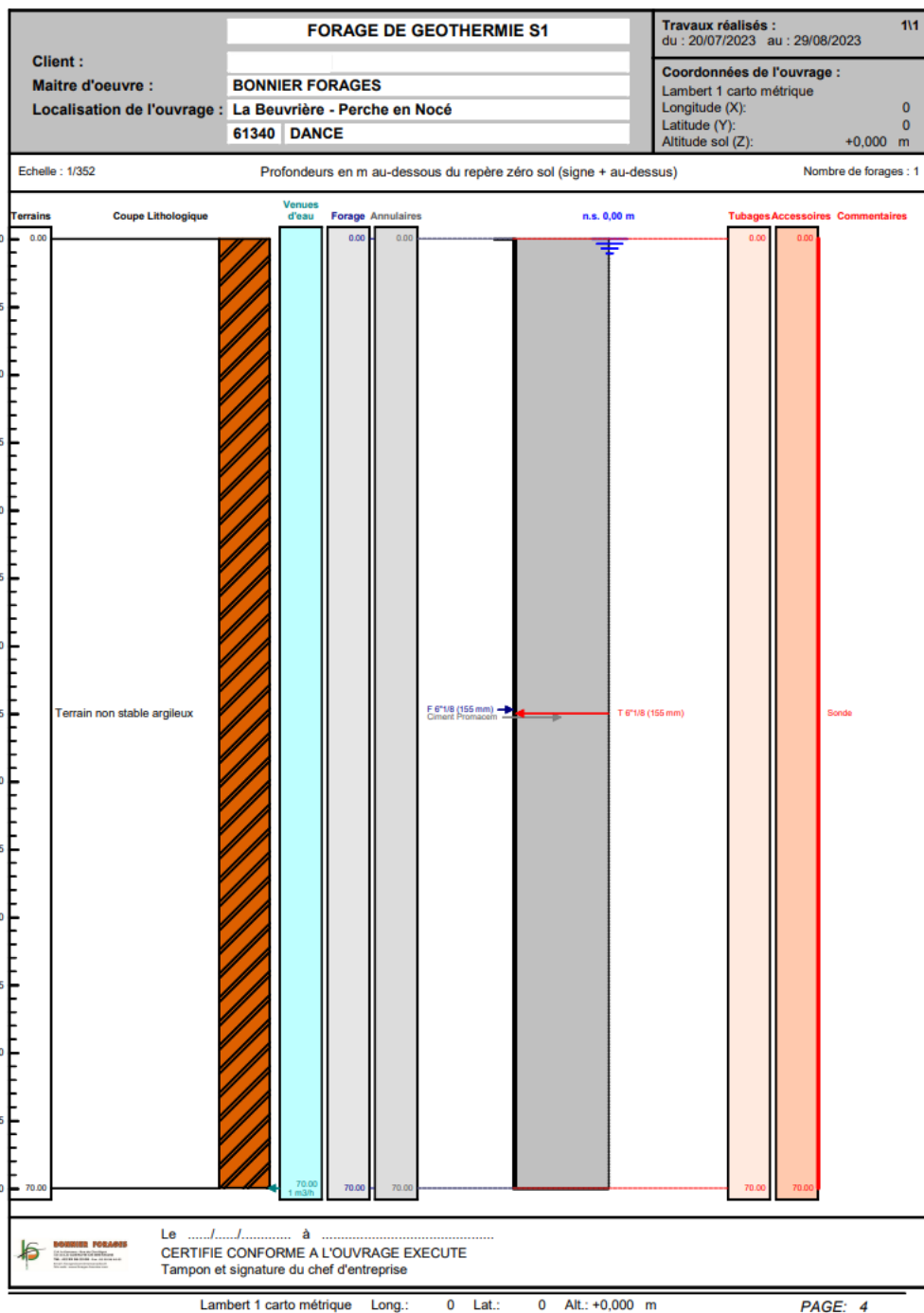
REDACTION	RELECTEUR
CORENTIN MOREAU CHARGÉE DE PROJETS, HYDROGEOLOGUE	OLIVIER LOUART DIRECTEUR GENERAL, HYDROGEOLOGUE

**ANNEXE 1: EXTRAIT DU PLAN CADASTRAL DE LA COMMUNE DE PERCHE-EN-NOCE OU SE SITUE
LE PROJET**



ANNEXE 2: COUPES GEOLOGIQUES DES OUVRAGES BSS CONSULTEES

BSS004GWHE (sur site, Z =+160 m NGF)



BSS000VYFB (Z =+132 m NGF)

10/04/2025 11:54

Infoterre Fiche Données - Dossier du sous-sol - Log validé - 02891X0007/PZ



InfoTerre



Géosciences pour une Terre durable

Dossier du sous-sol

BSS000VYFB

02891X0007/PZ

Log validé

Profondeur
De 0.0 à 80.0 m Rafraîchir

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
4.00	Alluvions Quaternaires		Argile	Quaternaire	128.00
5.00			Sable argileux		127.00
10.00	Argiles à silex		Argile	Cénozoïque	122.00
19.00	Craie glauconieuse		Craie cénomaniennne (craie glauconieuse probable)		113.00
	Glauconie à Ostrea vesiculosa		Argile noire avec passage de sable	Cénomanienn inférieur	
37.00			Argile		95.00
39.00	Sables et grès de l'Ormoie		Calcaire		93.00
41.00			Sable		91.00
43.00					89.00
	Faciès calcaire à Astartes		Calcaire	Oxfordien supérieur	
77.00					55.00
80.00			Argile		52.00

BSS000VYFA (Z =+114 m NGF)

10/04/2025 15:10

Infoterre Fiche Données - Dossier du sous-sol - Log validé - 02891X0006/F1-92



InfoTerre



Dossier du sous-sol

BSS000VYFA

02891X0006/F1-92

Log validé

Profondeur

De 0.0 à 48.0 m Rafraîchir

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
1.00	Alluvions		Tourbe	Quaternaire	113.00
2.00	Quaternaires		Argile grise sableuse	Cénozoïque	112.00
4.00	Argiles à silex		Argile grise à silex, glauconieuse		110.00
8.00	Gaize du Perche		Argile cénomaniennne et résidus crayeux (gaize)		106.00
	Glauconie à Ostrea vesiculosa		Argile glauconieuse	Cénomanienn inférieur	
21.00			Sables fins coquilliers (huitres) beiges		93.00
24.00	Sables et grès de l'Ormoie		Sables fins gris coquilliers		90.00
28.00			Calcaire gréseux		86.00
30.00			Calcaire argileux		84.00
35.00	Faciès calcaire à Astartes		Calcaire gréseux	Oxfordien supérieur	79.00
46.00			Argile grise		68.00
48.00					66.00

BSS000VYFBD (Z =+155 m NGF)

Identifiant national de l'ouvrage

BSS000VYFD

Ancien code - avant 2017
02891X0009

Log géologique numérisé

Nombre de niveaux : 4

Profondeur	Lithologie	Stratigraphie
De 0 à 3 m	LIMONS	
De 3 à 17 m	CRAIE	
De 17 à 38 m	CRAIE - CRAIE ARGILEUSE	
De 38 à 65 m	CALCAIRE GLAUCONIEUX GRIS FONCE	

**Craie glauconieuse
du Cénomanién ?**

BSS000VYEV (Z =+167 m NGF)

10/04/2025 15:18

Infoterre Fiche Données - Dossier du sous-sol - Log validé - 02891X0001/F



Dossier du sous-sol
BSS000VYEV

02891X0001/F

Log validé

Profondeur
De 0.0 à 49.0 m

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
8.00	Argiles à silex		Argile brune à brun-vert	Cénozoïque	159.00
48.00	Glauconie à Ostrea vesiculosa		Craie cénomaniennne (craie de Rouen et craie glauconieuse indifférenciées)	Cénomanienn	119.00
49.00			Glauconie de base	Cénomanienn inférieur	118.00

BSS000VYFN (Z =+150 m NGF)

14/04/2025 15:54

Infoterre Fiche Données - Dossier du sous-sol - Log validé - 02892X0009/F3-90



Dossier du sous-sol

BSS000VYFN

02892X0009/F3-90

Log validé

Profondeur
De 0.0 à 61.5 m

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
7.00	Argiles à silex		Argile marron	Cénozoïque	143.00
40.00	Craie de Rouen		Craie blanche (décrit en calcaire blanc)	Cénomanien moyen	110.00
45.00			Craie blanche et grise non argileuse (décrit en calcaire) Zone fracturée		
45.05			Craie blanche et grise non argileuse (décrit en calcaire), avec petites fractures entre 47 et 49m		
49.00	Craie glauconieuse		Décrit en calcaire bleuté (craie glauconieuse probable), avec petites fractures entre 49 et 52m	Cénomanien inférieur	104.95
57.00			Zone fracturée		101.00
57.05			Décrit en calcaire bleuté (craie glauconieuse du Cénomanien inférieur??), avec petites fractures entre 49 et 52m		93.00

BSS000TTXG (Z =+123 m NGF)

10/04/2025 18:28

Infoterre Fiche Données - Dossier du sous-sol - Log validé - 02535X0017/S1-93



InfoTerre



Éléments pour une Terre durable
brgm

Dossier du sous-sol

BSS000TTXG

02535X0017/S1-93

Log validé

Profondeur

De à m

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
2.50	Fz		Argile	Holocène	120.50
3.50			Argile sableuse		119.50
	Argiles à silex		Argile à silex	Cénozoïque	
11.00			Craie grise un peu argileuse		112.00
	Craie glauconieuse				
32.00			Craie grise glauconieuse et lits d'argile grise	Cénomanién inférieur	91.00
38.00			Argile sableuse noire verdâtre à glauconie (glauconie de base albo-cénomaniénne)		85.00
	Glauconie à Ostrea vesiculosa				
57.00			Sables et calcaires		66.00
	Sables et grès de l'Ormoie				
65.00			Argile grise (sables et grès de l'Ormoie??)	Oxfordien supérieur	58.00
66.00					57.00