



## Cellule Hydrogéologie Grand Ile-de-France

18 Rue d'Arras – Bâtiment A2

92000 NANTERRE



## SCI Immobilière Marnaise

## Projet de géothermie

12 rue André Huet Reims (51)

# Etude d'opportunité géothermique

PR.DTHY.25.0270-001-Ind0

Rév.	Date	Nb pages	Modifications	Rédacteur	Contrôleur
0	04/11/2025	30	1ère diffusion	F. KAYIZILA	J. FORMAL
A					
B					
C					

# SOMMAIRE

<b>A.</b>	<b>Présentation de la mission</b>	<b>3</b>
A.1.	Généralités – Eléments contractuels	3
A.2.	Livrable(s)	3
A.3.	Cadre de la mission	3
A.4.	Cadre réglementaire	4
A.5.	Le projet	5
A.6.	Documents utilisés	6
<b>B.</b>	<b>Description du site et approche documentaire</b>	<b>7</b>
B.1.	Topographie	7
B.2.	Hydrographie	7
B.3.	Contexte géologique général	8
B.4.	Zones naturelles et protégées	9
B.5.	Risques naturels et technologiques	10
<b>C.</b>	<b>Opportunité d'une solution Aquathermie</b>	<b>17</b>
C.1.	Préambule	17
C.2.	Prescriptions techniques générales	18
C.3.	Evaluation théorique des besoins en eau	19
C.4.	Contexte hydrogéologique général	19
C.5.	Recyclage thermique	23
C.6.	Qualité des eaux	23
C.7.	Zonage réglementaire	24
C.8.	Avis sur une solution aquathermie	24
<b>D.</b>	<b>Opportunité d'une solution SGV</b>	<b>25</b>
D.1.	Préambule	25
D.2.	Prescriptions techniques générales	26
D.3.	Caractérisation et gestion des cuttings	26
D.4.	Potentiel énergétique du sous-sol	27
D.5.	Zonage réglementaire	29
D.6.	Avis sur une solution SGV	30

# A. PRESENTATION DE LA MISSION

## A.1. Généralités – Eléments contractuels

Maître d'Ouvrage : SCI IMMOBILIERE MARNAISE

Devis : n°SQ.DTHY.25.08.028 – 1ère diffusion– 02/09/2025

Commande n°: 600/0051 du 04/09/2025

## A.2. Livrable(s)

Nos livrables seront constitués de plusieurs pièces :

- Pièce n°001 : Etude d'opportunité géothermique ;
- Pièce n°002 : Avis d'expert GMI.

Le présent document porte sur la version initiale identifiée en pièce n°001.

## A.3. Cadre de la mission

**Le rapport d'étude contient :**

- **Étude préliminaire du site**
  - Analyse des données du projet
  - Cadre de la mission
- **Description générale du site et approche documentaire**
  - Résultats de la visite du site
  - Description du système géologique et hydrogéologique local
- **Opportunité d'une solution géothermique par échangeurs ouverts avec le projet**
  - Evaluation des besoins en eau souterraine
  - Estimation des débits exploitables
  - Description des contraintes réglementaires et environnementales
  - Avis sur une solution aquathermie - Comparaison besoin / ressource
- **Opportunité d'une solution géothermique par échangeurs fermés avec le projet**
  - Caractéristiques de la sonde géothermique verticale
  - Potentiel énergétique du sous-sol
  - Description des contraintes réglementaires et environnementales
  - Avis sur une solution SGV - Comparaison besoin / ressource
- **Compléments éventuels à intégrer dans les missions ultérieures, afin de réduire les incertitudes et les risques hydrogéologiques encore existants**

**Nota :** Le calcul du taux de retour sur investissement n'est pas compris dans la mission. Ce dernier est du ressort d'un Maître d'œuvre ou d'un bureau d'étude Thermique.

## A.4. Cadre réglementaire

### A.4.1. Le code Minier

#### A.4.1.1. Cadre GMI

Le régime déclaratif simplifié s'applique aux gîtes géothermiques de minimales importances (autrement appelé géothermie de très basse température).

Les critères de la géothermie de minimale importance (GMI) pour la géothermie sur :

- Nappe (aquathermie) sont :
  - La profondeur de forage est comprise entre 10 et 200 mètres ;
  - Température de l'eau inférieure à 25°C ;
  - La puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW ;
  - Prélèvements et réinjections se font dans la même nappe et toute l'eau pompée est réinjectée ;
  - Débits réinjectés inférieurs aux seuils d'autorisation de la rubrique 5.1.1.0 de l'article R.214-I du Code de l'environnement (80 m<sup>3</sup>/h) ;
  - Les échangeurs ne doivent pas être situés sur une zone rouge ;
  - Pour les échangeurs situés en zone orange, un avis d'expert doit être réalisé.
- Sondes Géothermiques Verticales (SGV) sont :
  - La profondeur du forage est comprise entre 10 et 200 mètres ;
  - La puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 KW ;
  - Les échangeurs ne doivent pas être situés sur une zone rouge ;
  - Pour les échangeurs situés en zone orange, un avis d'expert doit être réalisé.

Par application à l'article 22-6 du décret n°2006-649, tout projet de GMI doit s'appuyer sur une cartographie de zonages réglementaires (cf. §C.7 & D.5.).

Cette cartographie vise à prévenir les déformations géologiques, à préserver les captages d'eau potable ainsi qu'à prévenir les risques sur des zones particulières (stockages souterrains, mines en activité, vides souterrains, etc.)

En définitive, le régime juridique applicable à l'installation géothermique de minimale importance envisagée varie en fonction de sa zone d'implantation :

- En zone « verte » : le régime déclaratif exposé ci-dessus s'applique ;
- En zone « orange » : le régime déclaratif s'applique. Toutefois, l'exploitant devra fournir à l'appui de la déclaration des travaux, une attestation d'un expert agréé constatant la compatibilité du projet au regard notamment d'un intérêt protégé au titre de l'article L. 161-I du code minier ;
- En zone « rouge » : le régime déclaratif est exclu. Les activités géothermiques envisagées dans ces zones ne sont pas considérées comme de minimale importance, car elles présentent des dangers ou inconvénients graves.

#### A.4.1.2. Cadre hors GMI

Dès lors que le cadre GMI n'est pas respecté, tout projet sera soumis à Autorisation au titre du code Minier suivant Titre II du décret n°2006-649 du 2 juin 2006.

#### A.4.2. Le code de l'Environnement

Seules les investigations hydrogéologiques destinées à caractériser les aquifères et étudier les nappes (piézomètres, forages d'essai hors forage définitif et essais par pompage) sont soumis à la Nomenclature Eau et plus précisément aux rubriques du Titre Ier Prélèvements du code de l'Environnement.

### A.5. Le projet

Le projet porté par la SCI Immobilière Marnaise consiste en l'aménagement d'une de ses parcelles localisées au 12 rue André Huet à Reims (cf. figure suivante).

Pour la fourniture énergétique des différents aménagement prévus (bâtiment et autre ouvrage, etc.), il est envisagé la réalisation d'un réseau de chaleur alimenté par des dispositifs photovoltaïque et géothermique.

A ce stade de l'étude, les plans projet ainsi que les besoins énergétiques ne sont pas encore finalisés. Toutefois, le régime déclaratif dans lequel s'inscrira le projet pour la partie énergétique est celle de la géothermie de minime importance à savoir un besoin énergétique maximal de 500KW.

Par ailleurs, aucune information sur le type et la performance de pompe à chaleur prévue n'est connue à ce stade.

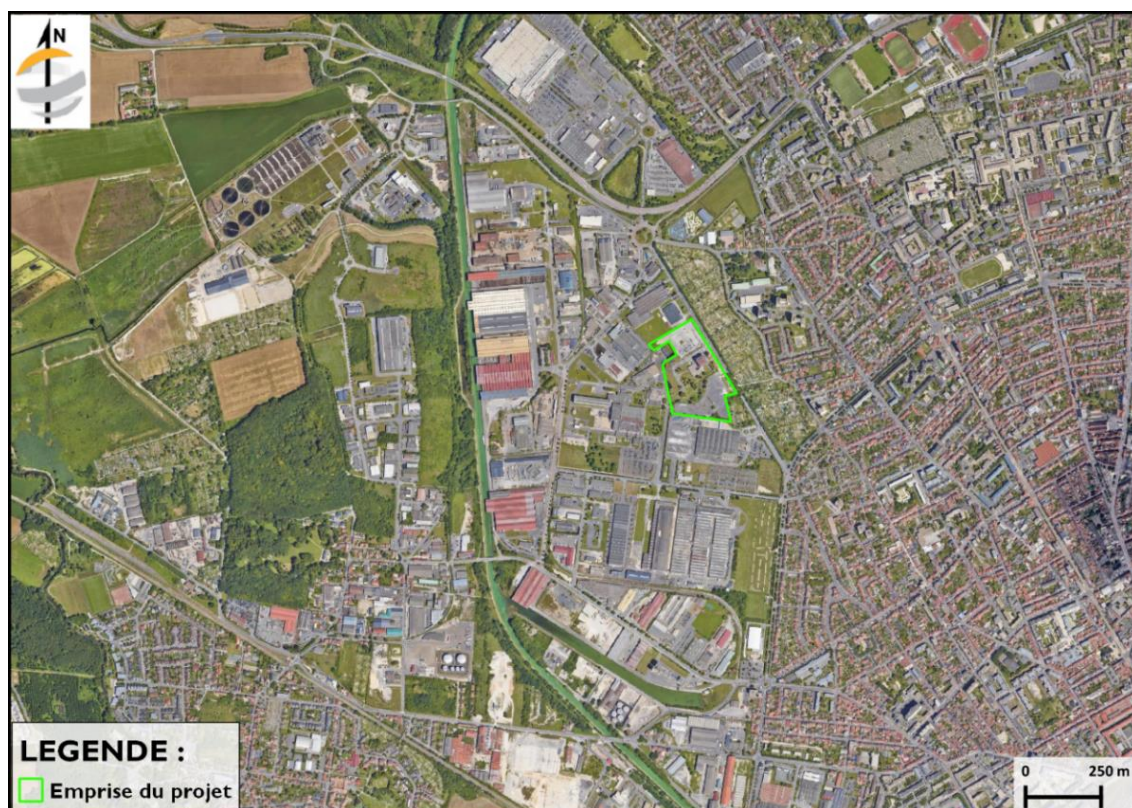


Figure 1 : Localisation et emprise du projet (Source : BD ORTHO)

## A.6. Documents utilisés

Les documents qui ont été utilisés dans le cadre de la présente étude sont présentés dans le tableau suivant

Type	Format	Référence	Emetteur
Rapport d'étude historique et documentaire	PDF	077448-25815592 daté du 04/04/2025	BUREAU VERITAS

Tableau 1 : Liste des documents utilisés



## B. DESCRIPTION DU SITE ET APPROCHE DOCUMENTAIRE

### B.1.Topographie

D'après un extrait de la carte IGN au 1/25 000<sup>ème</sup> présentée ci-dessous, l'altitude au droit du site d'étude est en moyenne à +79 mNGF.

Actuellement le site est occupé par un bâtiment, des voiries et espaces verts.

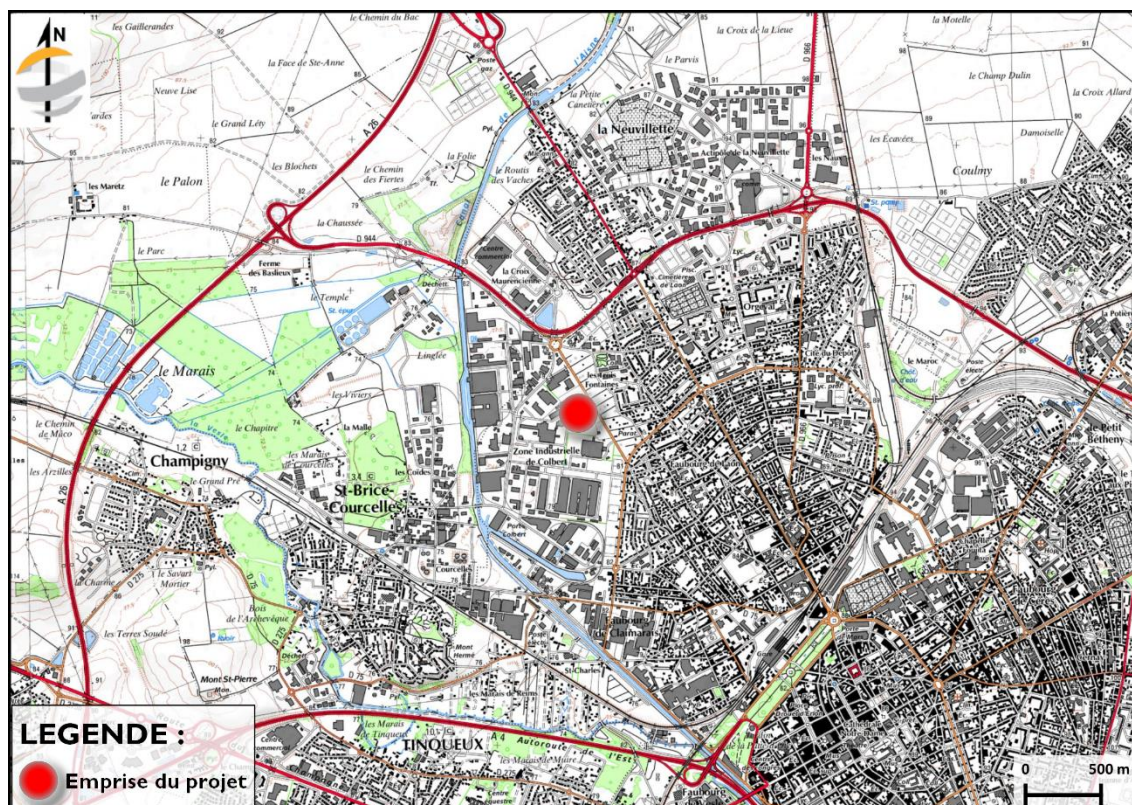


Figure 2 : Carte topographique de la zone d'étude (Source : IGN le 20/10/2025)

### B.2.Hydrographie

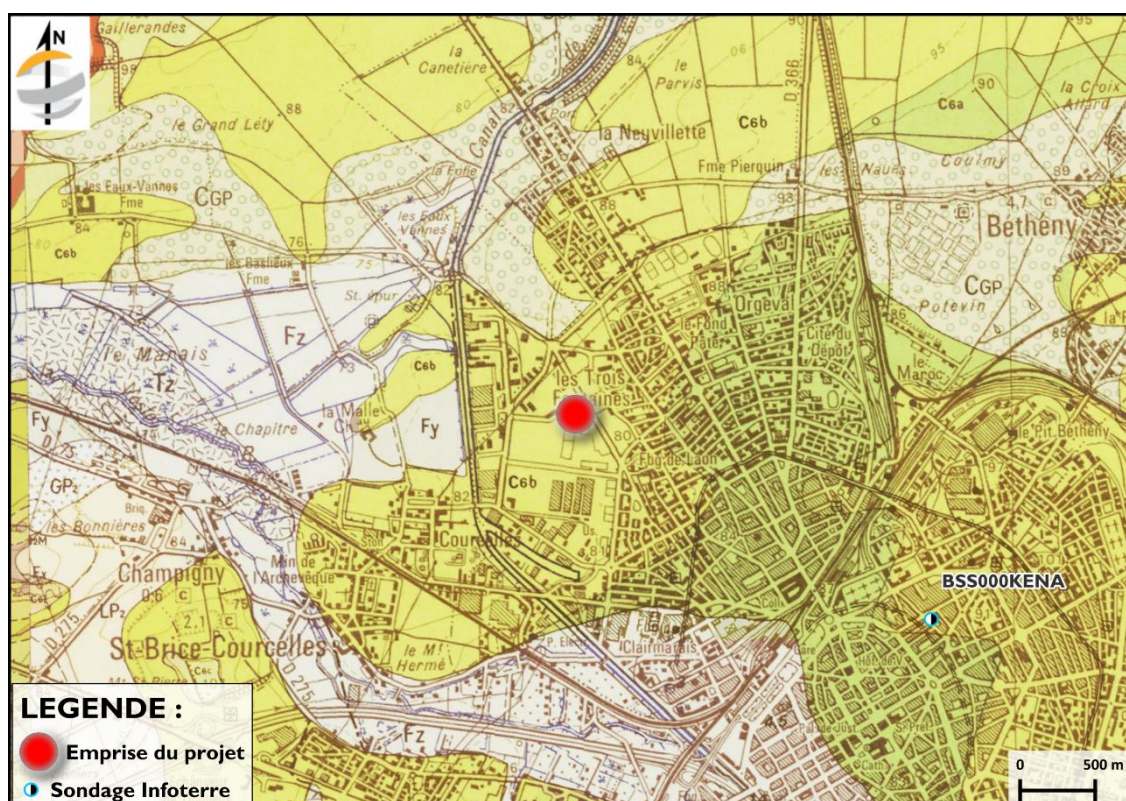
D'après la Figure 3, le réseau hydrographique à proximité du site est représenté par le canal de la Marne à l'Aisne localisé à une distance de 600m à l'ouest du projet.





### B.3.Contexte géologique général

D'après la carte géologique n°132 de REIMS éditée au 1/50 000 par le BRGM, on peut s'attendre à retrouver sous un recouvrement de remblais, la craie crétacée épaisse de plus d'une centaine de mètres et reposant sur les marnes du Turonien. Le sondage Infoterre BSS000KENA rend compte de cette géologie.





- Fz : Alluvions actuelles : limons argileux, sables
- X : Quaternaire - Remblais anthropiques
- Fz : Quaternaire - Alluvions récentes
- Fy : Alluvions anciennes : graviers, sables et limons
- Fy : Quaternaire - Alluvions anciennes : basses et moyennes terrasses
- CGP : Graveluches alluvio-colluviales
- c6 : Secondaire-Crétacé - Campanien : craie blanche à silex à Bélemnites (biozones g, h, i, j)
- c6b : Campanien inférieur : craie, biozone de foraminifères h
- c6a : Campanien inférieur : craie, biozone de foraminifères g

Figure 4 : Extrait de la carte géologique de la zone d'étude (BRGM)

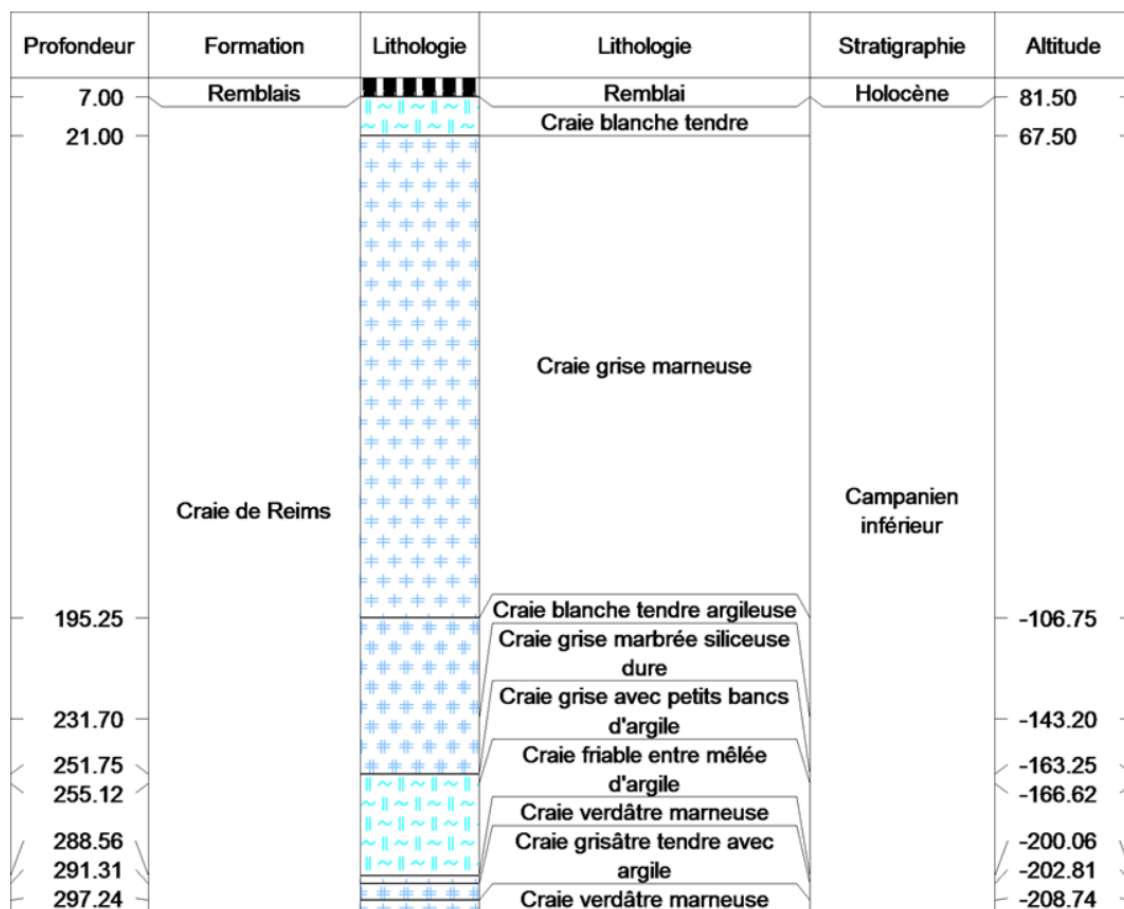


Figure 5 : Coupe lithologique du sondage BSS000KENA (Source : Infoterre)

## B.4. Zones naturelles et protégées

Dans un rayon de 500m par rapport au centroïde du projet, les zones naturelles et protégées ci-après sont identifiées :

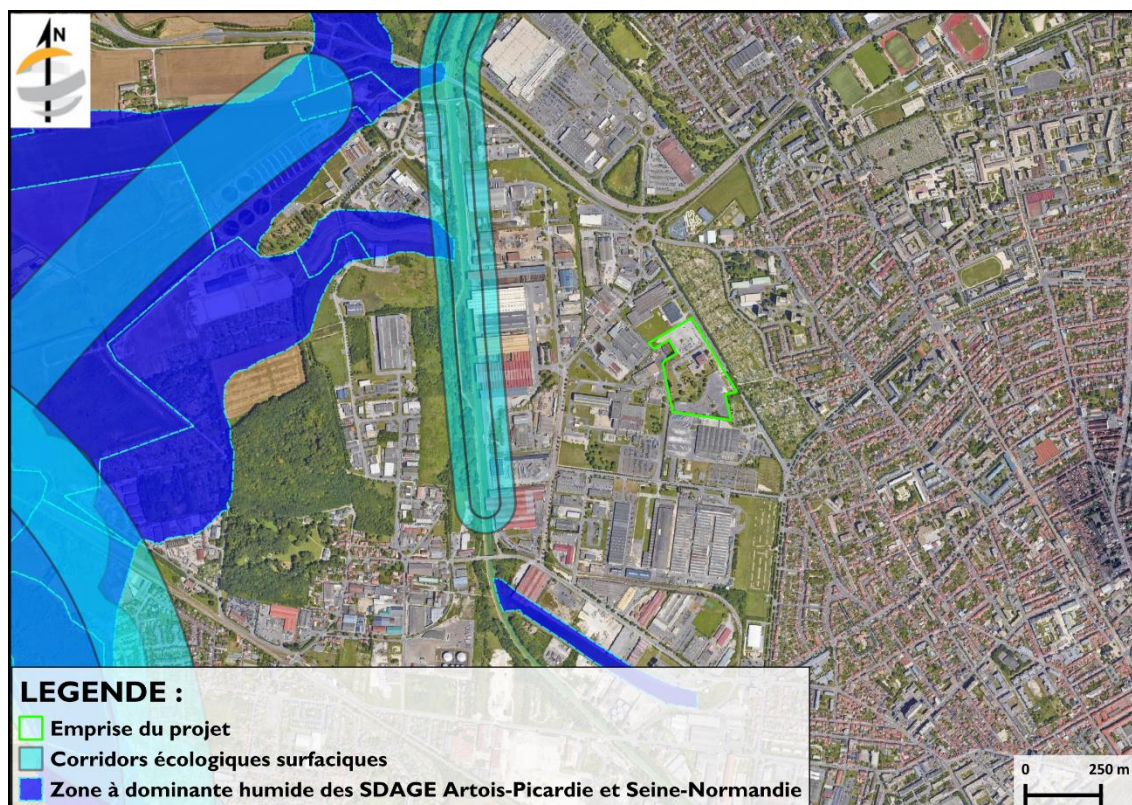


Figure 6 : Zones naturelles et protégées à proximité du site d'étude (Source DREAL Grand-Est)

D'après la figure ci-dessus, aucune zone naturelle protégée ou règlementaire est localisé en limite direct du site d'étude.

## B.5.Risques naturels et technologiques

D'après la base données Géorisques et dans un rayon de 500m par rapport au centroïde du projet les risques naturels et technologiques identifiés sont les suivants :

- Mouvement de terrain ;
- Inondation par remontées de nappe ;
- La présence de sites pollués ou potentiellement pollués ainsi que des canalisations de transport de matière dangereuses ;
- La présence de ICPE.

### B.5.1. Risques naturels

#### B.5.1.1. Remontées de nappe

D'après la cartographie du BRGM disponible sur la base de données GEORISQUES, dont un extrait est présenté en figure suivante, le site d'étude, est concernée par le risque de débordement de nappe (fiabilité moyenne).

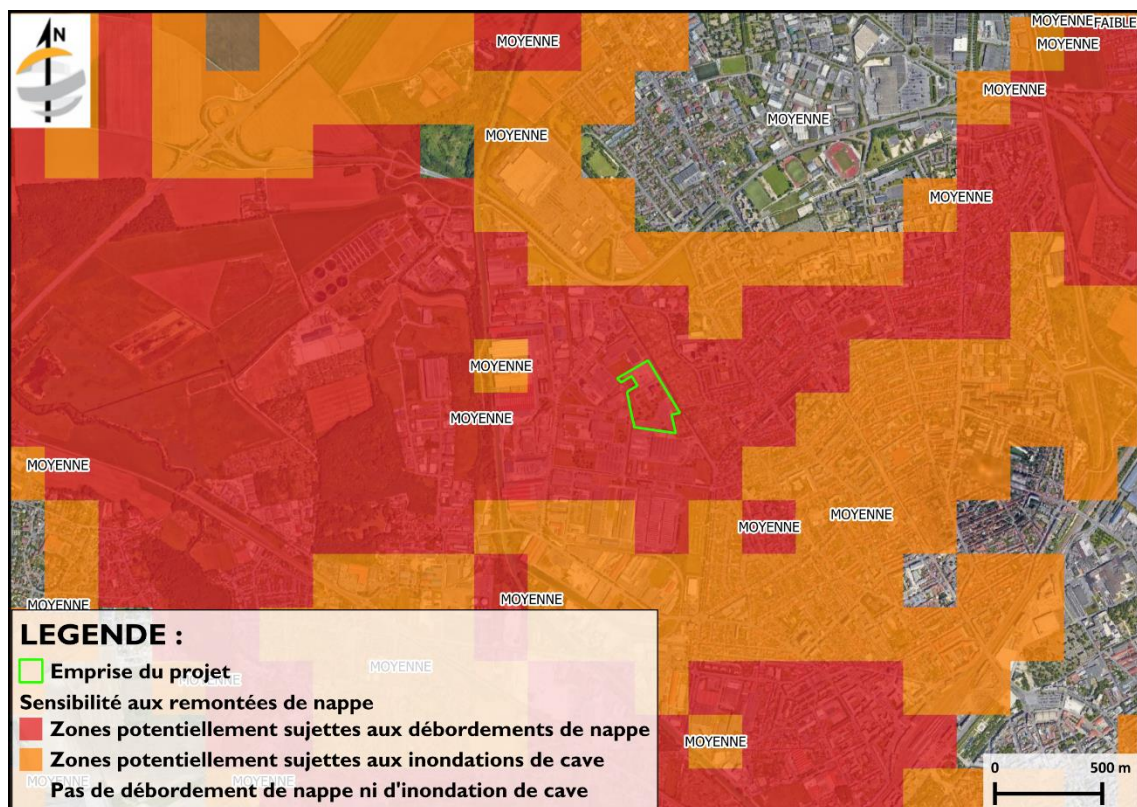


Figure 7 : Cartographie de sensibilité face au risque d'inondation par remontées de nappe (Source : BRGM)

**NOTA :** Il convient de préciser que la cartographie de sensibilité aux remontées de nappe présentée ci-dessus résulte du traitement automatisé de plusieurs jeux de données spatialisées (topographie, épaisseur supposée de la zone non saturée, proximité du réseau hydrographique, etc.). D'après le BRGM, cette cartographie n'est notamment pas applicable aux zones à dominante karstiques, aux zones urbaines et aux secteurs d'après-mine.

Par ailleurs, la résolution du maillage de dimensions 250 m x 250 m ne permet pas une exploitation à une échelle inférieure au 1/100 000<sup>ème</sup>.

Sur la base de ces constats, cette carte n'est pas à même de rendre compte des spécificités locales de chaque site : elle est ainsi renseignée à titre indicatif mais ne pourra en aucun cas constituer une source de données prédictive vis-à-vis des potentielles interactions entre la nappe libre et l'ouvrage projeté.



### B.5.1.2. Mouvement de terrain

D'après les bases de données Géorisques, la commune de Reims est concernée par un plan de prévention du risque mouvement de terrain approuvé par le biais d'un arrêté préfectoral datant de mai 1991.

D'après ce plan, le site n'est pas localisé au droit d'une zone à risque. La zone à risque la plus proche est à une distance de 500m au sud du projet.

Par ailleurs, dans un rayon de 500m aucun indice de cavité n'est recensé.

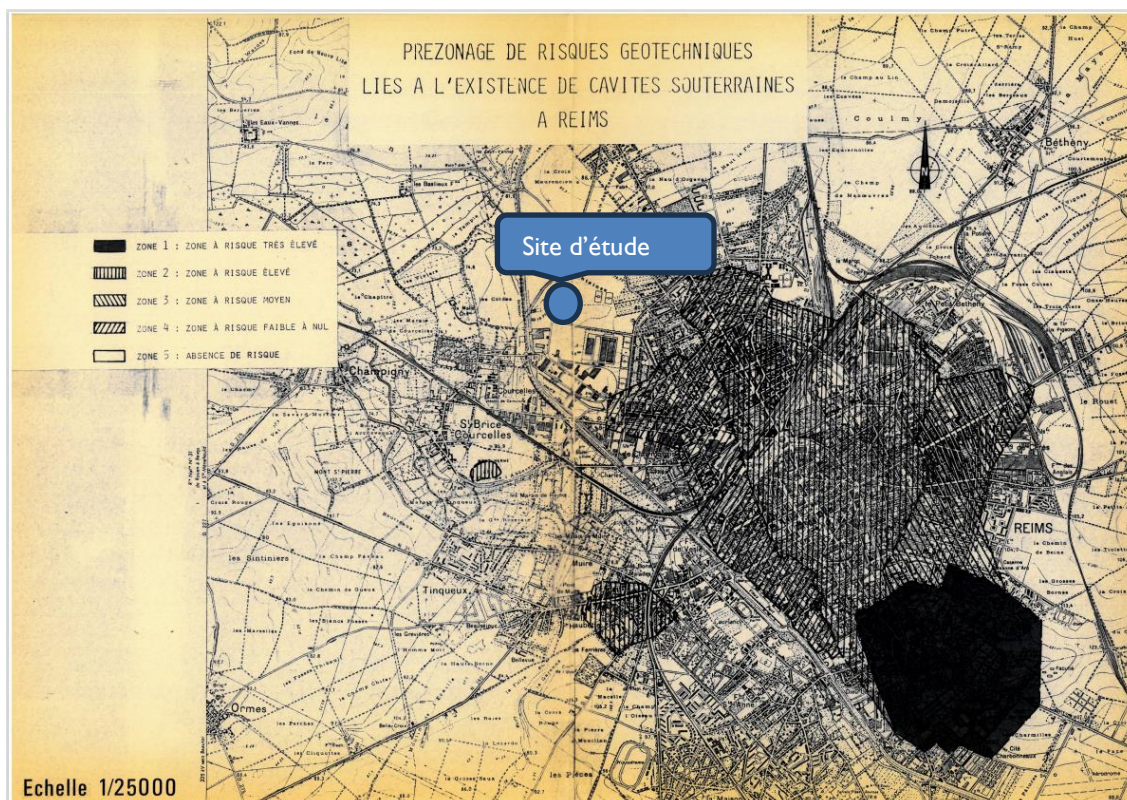


Figure 8 : Plan de prévention du risque mouvement de terrain de la commune de Reims (Source Préfecture de la Marne)

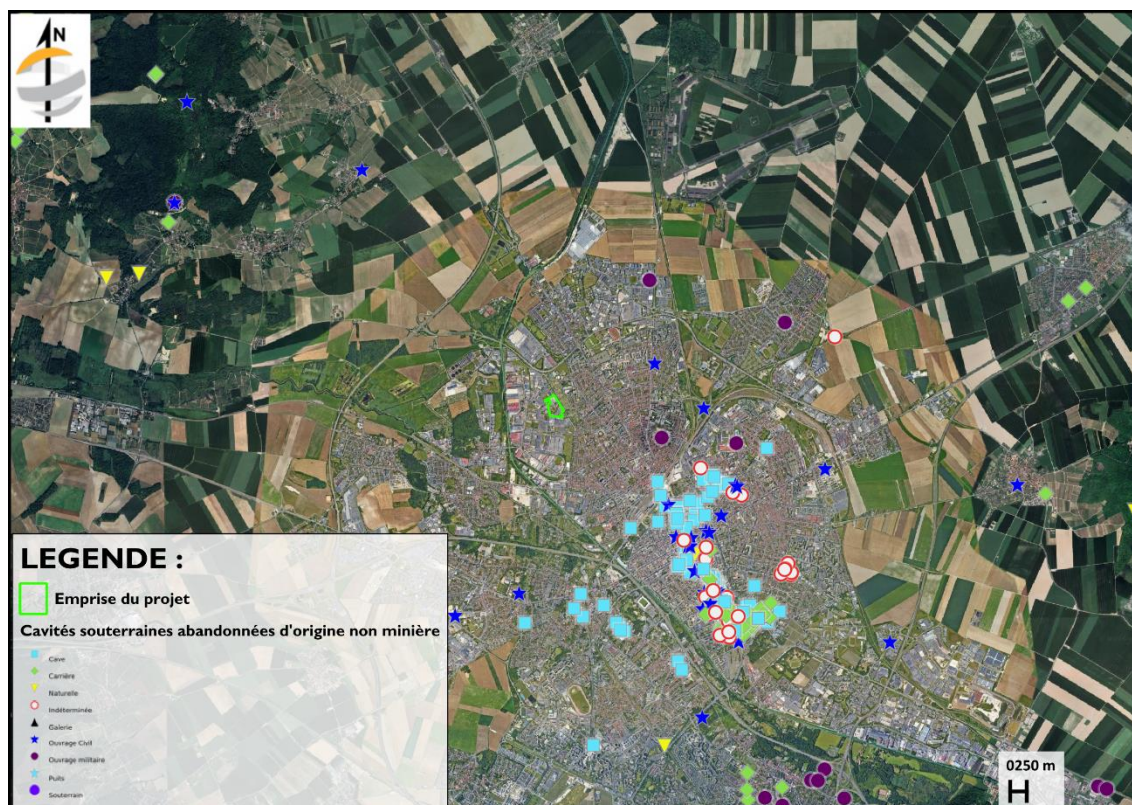


Figure 9 : Localisation des cavités souterraines (Source Géorisques)

## B.5.2. Risques technologiques

### B.5.2.1. Sites pollués

D'après les bases de données Géorisques les installations polluantes identifiées dans l'emprise du projet sont présentées dans la figure et le tableau ci-dessous.

Identifiant	Nom établissement	Etat d'activité
SSP550679	ARCELOMITTAL CENTRES DE SERVICES	En arrêt
SSP3835437	Station-service et stockage de produits chimiques	Indéterminé
SSP3836326	Imprimerie	En arrêt
SSP3836345	Dépôt de produits chimiques	Indéterminé
SSP3836196	Fabrication de carrosseries automobiles et radiateurs pour VL-PL	Indéterminé

Tableau 2 : Caractéristiques des sites BASIAS



Identifiant	Nom du site	Descriptif	Type de pollution identifiées	Actions menées
SSP000760301	CALDIC (ex DUCANCEL ET HEBERT)	Une étude de sols avec évaluation simplifiée des risques a été demandée par arrêté préfectoral du 29 avril 1998. Le diagnostic initial et l'évaluation simplifiée des risques remis par l'exploitant ont conclu au classement du site en classe 1	Trichloéthylène, le tétrachloroéthylène et le trichloroéthane	Travaux de dépollution de la zone non saturée par venting
SSP000906701	VALEO THERMIQUE MOTEUR	L'arrêté préfectoral n° 2008-APC-107-IC a été signé le 26 août 2008 suite aux différentes études effectuées sur les sols et la nappe. Les précédentes investigations ont relevé la présence d'une pollution en composés organiques	Tétrachloroéthylène	Aucune action de dépollution menée

Tableau 3 : Caractéristiques des sites BASOL



Figure 10 : localisation de sites pollués ou potentiellement pollués (Sources : Géorisques)

Le cas échéant, une étude de sites et sols pollués dédiée devra être réalisée.

#### B.5.2.2. Installations classées

D'après la base de données Géorisques, on note la présence de 2 installations classées à proximité immédiate du site cf. figure et tableau ci-dessous.





Figure 11 : Localisation des sites ICPE (Sources : Géorisques)

Noms établissement	X	Y	Usage	Régime	Code_AIOT
ARCELORMITTAL CONSTRUCTION FRANCE	772823	6908724	Métallurgie	Autorisation	5701472
DELPHARM	773217	6908523	Industrie pharmaceutique	Enregistrement	5701604

Tableau 4 : caractéristiques du site ICPE

#### B.5.2.3. Canalisations de transport de matières dangereuses

D'après les bases de données Géorisques aucune canalisation de transport de matière dangereuses n'est localisée à proximité immédiate du site d'étude.



Figure 12 : Localisation des canalisations dangereuses à proximité du site (Sources Géorisques)



# C. OPPORTUNITE D'UNE SOLUTION AQUATHERMIE

## C.I. Préambule

Le doublet géothermique est constitué d'un ensemble de deux forages dont l'un appelé forage d'injection permet de puiser l'eau, l'autre forage permet de réinjecter l'eau dans le même aquifère après que celle-ci ait cédé sa chaleur.

Le fonctionnement général d'un doublet sur nappe superficielle est le suivant :

- L'eau de la nappe est pompée au moyen d'une pompe immergée placée dans un forage (forage de pompage). Elle est acheminée par une canalisation indépendante jusqu'à un échangeur de chaleur ;
- L'eau pompée circule dans cet échangeur constitué d'une série de plaques permettant une grande surface de contact. L'eau du forage (circuit primaire) circule d'un côté de la paroi des plaques. De l'autre côté des plaques, circule un autre fluide (circuit secondaire). Il n'y a aucun contact direct, aucun mélange possible entre ces deux circuits, séparés par des parois en Inox. Seule la chaleur se communique au travers de la paroi ;
- L'eau du circuit primaire, à la sortie de l'échangeur, voit seulement sa température se modifier : elle est plus basse après avoir cédée des calories au circuit secondaire, qui lui, voit sa température augmenter (production de chaleur) ou inversement (production de froid) ;
- Après l'échangeur, l'eau du circuit primaire est rejetée dans un second forage (une ou plusieurs forages de réinjection) ;
- Le fluide du circuit secondaire, pour sa part, est orienté, selon le besoin en froid ou en chaud, vers un évaporateur ou vers un condenseur.

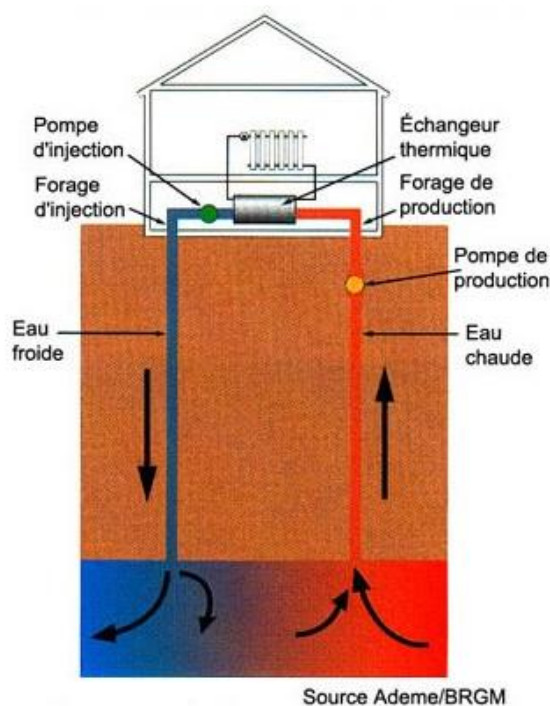


Figure 13 : Schéma de principe d'un doublet géothermique



## C.2. Prescriptions techniques générales

D'après l'arrêté du 11 septembre 2003, Aucun sondage, forage, puits, ouvrage souterrain, ne peut être effectué à proximité d'une installation susceptible d'altérer la qualité des eaux souterraines. En particulier, ils ne peuvent être situés à moins de :

- 200 mètres des décharges et installations de stockage de déchets ménagers ou industriels ;
- 35 mètres des ouvrages d'assainissement collectif ou non collectif, des canalisations d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines ;
- 35 mètres des stockages d'hydrocarbures, de produits chimiques, de produits phytosanitaires ou autres produits susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines.

D'après l'arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importances, les échangeurs géothermiques (nappes et sondes) destinés à l'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance ne peuvent pas être implantés :

- dans les périmètres de protection immédiate et rapprochée des captages d'eau destinée à la consommation humaine et des sources des eaux minérales naturelles conditionnées ;
- à moins de 35 mètres d'un ouvrage souterrain de prélèvement d'eau destinée à la consommation humaine ;
- des stockages d'hydrocarbures, de produits chimiques, de produits phytosanitaires ou autres produits susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines ;
- des bâtiments d'élevage et leurs annexes relevant des rubriques 2101, 2102, 2110, 2111, 2112, 2113, 2120 de la nomenclature des installations classées ainsi que des zones de stockage des déchets de l'exploitation d'élevage ;
- des ouvrages de traitement des eaux usées collectifs ou non collectifs ;
- à moins de 200 mètres d'une installation de stockage de déchets relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées.

Outre les règles d'implantations précisées au 2.1 de l'arrêté du 25 juin 2015, lors de leur réalisation, les échangeurs géothermiques ouverts (forages exploitant la nappe) ne peuvent pas être implantés :

- dans un périmètre de protection géothermique institué en application de l'article L. 124-5 du code minier ni dans un volume d'exploitation d'activités géothermiques défini en application de l'article L. 134-6 du code minier ;
- à moins de 5 mètres de conduites d'assainissement individuelles ou collectives d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines, lorsque qu'une étanchéité entre les conduites d'assainissement et les horizons géologiques exploités existe ou est mise en place. En l'absence d'une telle étanchéité naturelle ou artificielle, cette distance minimale est portée à 35 m.

**L'emplacement des forages n'est pas encore défini à ce stade de projet.**

### C.3. Evaluation théorique des besoins en eau

Le cadre réglementaire défini pour le projet est la GMI ce qui signifie un débit de pompage de 80m³/h maximum et la réalisation de forage de pompage et de réinjection de profondeur comprise entre 10 et 200m.

### C.4. Contexte hydrogéologique général

#### C.4.1. Réservoir(s) et entité(s) hydrogéologique(s) pressenti(s)

D'après la coupe géologique établie et de la Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères (BD LISA) :

- Les remblais ne constituent pas un réservoir aquifère mais plutôt une formation hétérogène et exogène qui peut être le siège de circulation d'eau sporadique à la suite de précipitations. Cette nappe serait limitée dans le temps et l'espace ;
- La craie constitue un réservoir à porosités d'interstices et de fissures identifiés. Ce réservoir est délimité par les remblais en son toit et par les marnes qui représentent son substratum. Une nappe d'eau souterraine libre circule dans ce réservoir. Néanmoins, la productivité de cet aquifère dépend quasi exclusivement de sa fissuration, pouvant être hétérogène spatialement.
- Les marnes bleues de du Turonien qui représentent une unité imperméable et le substratum du réservoir crayeux.

#### C.4.2. Données piézométriques disponibles

La figure et le tableau ci-dessous présentent l'inventaire des ouvrages Infoterre au droit desquels une profondeur de l'ouvrage et de la nappe ont été relevés dans un rayon de 600m par rapport au centroïde du projet.



Figure 14 : Inventaire Infoterre

N°	n°BSS	X (L93)	Y (L93)	Nature	Profondeur ouvrage (m/sol)	Altitude sol (mNGF)	Profondeur nappe (m/sol)	Altitude nappe (mNGF)	Date de mesure	Aquifère capté
1	BSS000KEFG	773401	6908105	FORAGE	30.0	77.0	3.1	73.9	01/01/1957	Craie
2	BSS000KEJA	773091	6908133	FORAGE	35	78.4	5.2	73.2	03/01/1969	Craie
3	BSS000KEKJ	772953	6908910	FORAGE	10	78	3.6	74.4	01/09/1979	Craie
4	BSS000KEPE	773085	6908608	FORAGE	20	80.5	3.3	77.2	11/05/1988	Craie
5	BSS000KEPF	773186	6908748	FORAGE	20	80.5	4.7	75.8	17/07/1990	Craie
6	BSS000KEPR	773096	6908708	FORAGE	25	80.5	5.02	75.5	26/09/1996	Craie
7	BSS000KEKP	773876	6908621	FORAGE	26.5	81	5.4	75.6	05/12/1982	Craie
8	BSS000KEVG	773888	6908836	FORAGE	19	81	5.67	75.3	15/03/2010	Craie
9	BSS000KEVH	773890	6908861	FORAGE	19	81	5.22	75.8	15/03/2010	Craie

Tableau 5 : Inventaire Infoterre

L'inventaire réalisé a permis de recenser 9 ouvrages captant la nappe de la craie et qui indiquent une nappe dont le toit a été recoupée entre +73.2 et +77.2 mNGF.

### C.4.3. Potentiel géothermique et débit exploitable

La consultation des bases des données [Géothermie.fr](http://Géothermie.fr) indique un potentiel géothermique fort pour le réservoir aquifère crayeux comme le précise la carte ci-dessous.

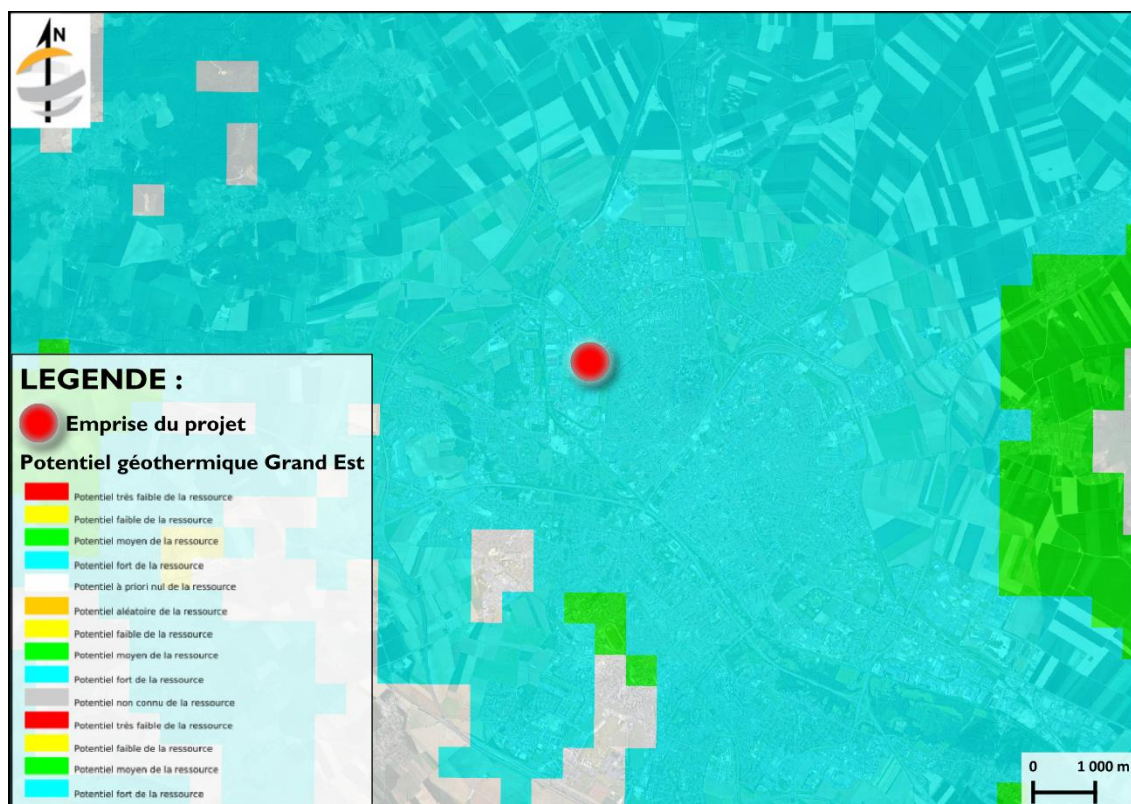


Figure 15 : Potentiel géothermique (Source Géothermies.fr)



Le débit exploitable, d'après la base de données géothermies.fr, de cet aquifère est présenté dans le tableau ci-après. Ce débit permettrait théoriquement de répondre aux besoins de la GMI qui fixe un débit maximal d'exploitation à 80m³/h.

Aquifère	Potentiel	Débit exploitable m3/h)	Température (°C)
Craie	Fort	>100	10 et 15

Tableau 6 : Potentiel géothermique (Géothermies.fr)

En fonction des besoins thermiques, ce débit d'exploitation théorique devra absolument être vérifié par la réalisation d'un forage d'essai avec essais de pompage et ré-injection.

#### C.4.4. Inventaire des ouvrages réalisés

La consultation des bases des données [Géothermie.fr](http://Géothermie.fr) indique la présence d'ouvrages géothermiques sur nappe réalisés dans un rayon de 1Km cf. figure ci-dessous.



Figure 16 : Inventaire des ouvrages réalisés (Source Géothermies.fr)

Les données disponibles au droit de ces ouvrages sont présentées ci-après :



Identifiant	X	Y	Profo n- deur (m)	Diamèt re ouvra ge (mm)	Altitud e sol (mNG F)	Nom ouvra ge	Natur e	Réservo ir capté	Transmissiv ité calculée m <sup>2</sup> /s	Foncti on ouvrag e
BSS000KEK P	77387 5	69086 21	26.5	250	81.0	OPHL M	FORA GE	Craie	6.00E-02	Très- basse- énergie
BSS000KEK Y	77447 1	69082 65	12	118	82	FPAC			-	
BSS000KEL S	77417 4	69085 77	25	220	83.0	F1			2.50E-02	
BSS000KEL T	77418 4	69085 77	25	-	83	F2			-	
BSS000KET W	77435 8	69084 81	16	124	83.0	F			-	

Tableau 7 : Caractéristiques des ouvrages géothermiques recensés à proximité du projet (Source BRGM)

### C.4.5. Sens d'écoulement et gradient hydraulique

Deux cartes piézométriques de nappe de la craie champenoise ont été éditées par le BRGM en 2002 dont une en basses eaux et une autre en hautes eaux.

L'extrait de cette carte au droit du site indique une nappe qui est drainée par le canal de l'Aisne à la Marne selon une direction sud-est nord-ouest avec un gradient hydraulique de l'ordre de 1‰.

En périodes de basses le toit de la nappe est à une cote proche de +73 mNGF tandis qu'en hautes eaux, la nappe est à une cote proche de + 77mNGF.

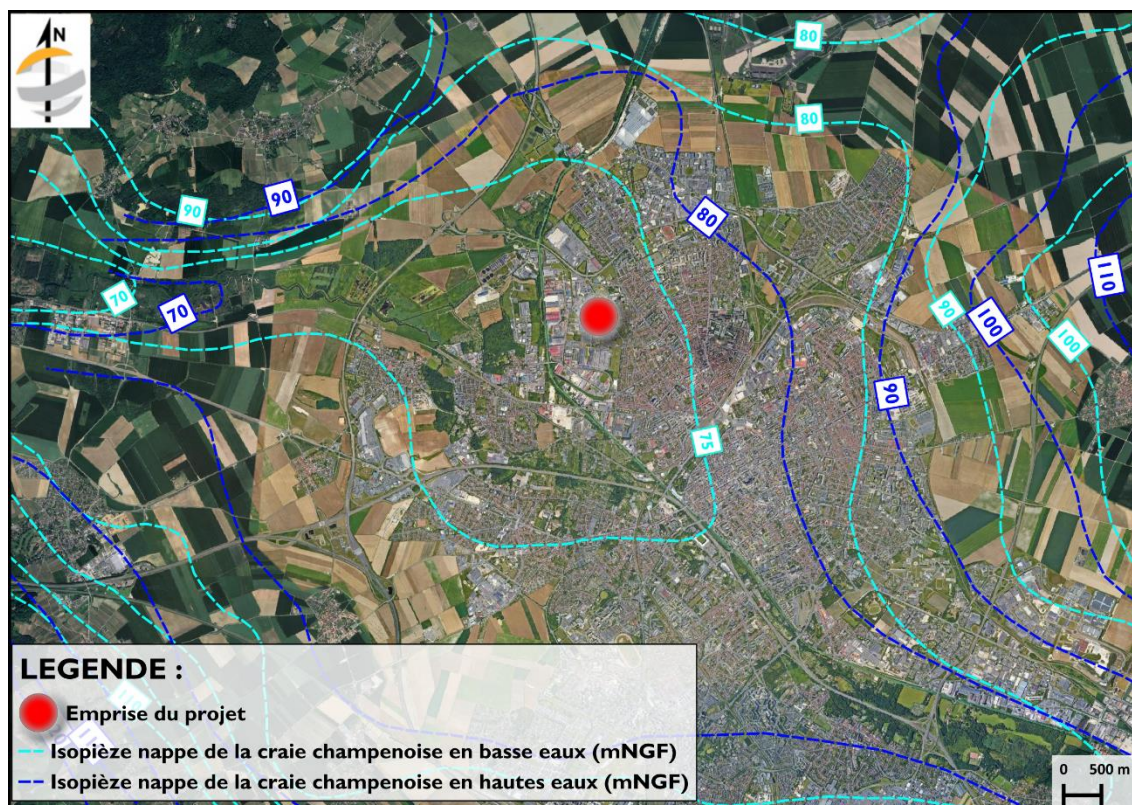


Figure 17 : Extrait de la carte piézométrique de la nappe de la craie (Source BRGM)



## C.5. Recyclage thermique

Par définition, le taux de recyclage thermique correspond à la fraction du débit de réinjection qui repart au forage d'exploitation. Ce paramètre est fortement conditionné par la place disponible et donc par la distance entre le point de pompage et celui de réinjection.

Bien que n'ayant pas un plan des aménagements prévus et le besoin énergétique réel, la surface disponible au droit du projet ne semble pas représenter un paramètre contraignant au recyclage thermique

Toutefois, la réalisation d'une modélisation hydrogéologique permettrait de préciser ce paramètre.

## C.6. Qualité des eaux

Tout projet d'aquathermie doit faire l'objet d'analyses physico-chimique conformes au programme analytique exigé par l'arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance.

La consultation de la base de données ADES permet d'appréhender la qualité physico-chimique d'une nappe d'eau souterraine. L'ouvrage référencé BSS000KEHP, localisé à environ 1,9 km au sud du projet a été utilisé pour la réalisation d'analyses physico-chimiques.

Qualitomètre		BSS000KEHP		
Paramètre	Unité	Min	Max	Moy
CO <sub>2</sub> dissous	mg/L	Pas de valeur	Pas de valeur	Pas de valeur
O <sub>2</sub> dissous	mg/L	2.3	6.7	4.2
Salinité	mg/L	Pas de valeur	Pas de valeur	Pas de valeur
Conductivité à 25°C	µS/cm	650.0	740.0	691.8
pH	-	7.1	7.5	7.266
Chlorures	mg/L	35.1	46.0	40.5
Sulfates	mg/L	22.9	43.2	35.3
Sulfures	mg/L	Pas de valeur	Pas de valeur	Pas de valeur
Férréobactéries	µg/L	Pas de valeur	Pas de valeur	Pas de valeur
Bactéries sulfato-réductrices	mg/L	Pas de valeur	Pas de valeur	Pas de valeur
Titre alcalimétrique complet (T.A.C.)	°F	23.0	25.6	24.7
Eh (potentiel d'oxydoréduction)	mg/L	Pas de valeur	Pas de valeur	Pas de valeur

Tableau 8 : Qualité physico-chimiques de la nappe ciblée mesurée dans l'ouvrage BSS000KEHP (Source : ADES)

Ces données bien qu'incomplètes et comparées au SEQ donne une première idée de la qualité de l'eau qui semble hormis l'oxygène dissous de bonne qualité.

Ces données qualitatives devront toutefois être précisées par la réalisation d'une campagne de prélèvement d'eau au droit du site d'étude

On rappelle toutefois comme précisée au chapitre risque technologique que la présence de pollution aux composés organoleptiques volatiles ont été identifiés au droit de deux sites dans les eaux souterraines.

La réalisation d'analyses d'eau détaillée en plus des paramètres demandés par le SEQ présentés ci-dessus devront être réalisés et ce conformément à la norme NFX-31-615.

## C.7. Zonage réglementaire

La figure suivante présente l'emplacement du projet vis-à-vis du zonage réglementaire définie par l'article 22-6 du décret n°2006-649.

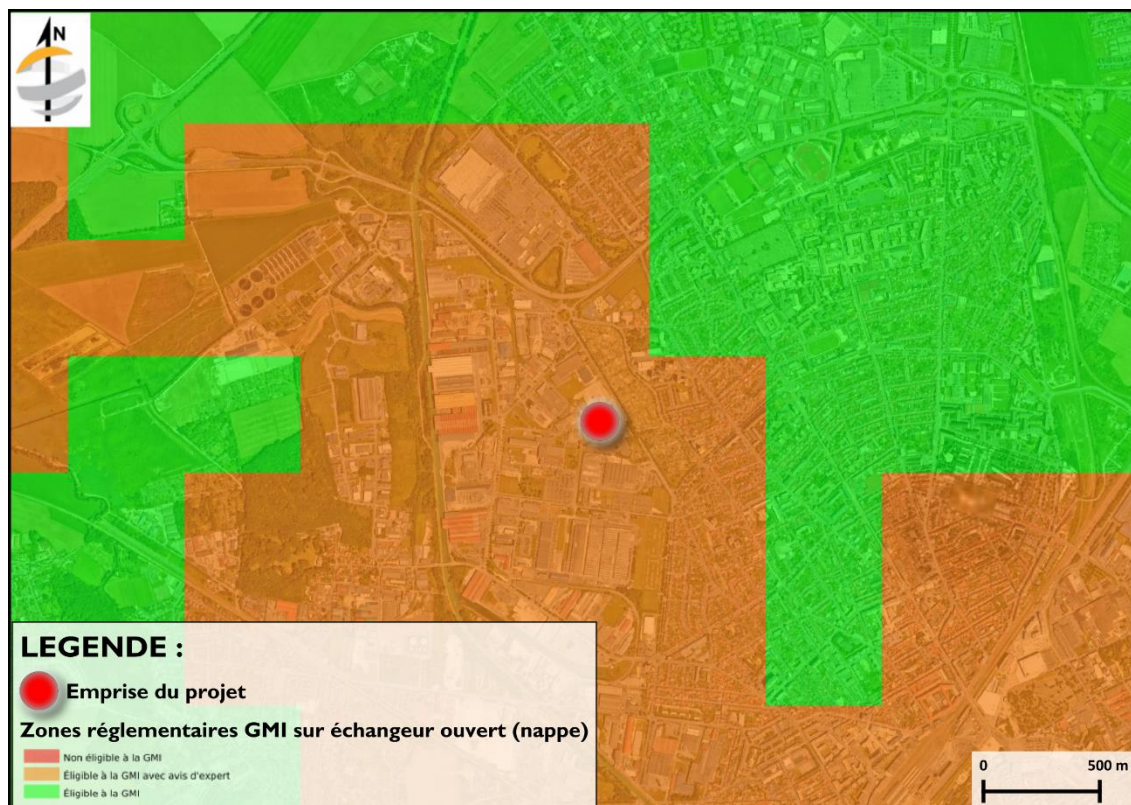


Figure 18 : Zones réglementaires GMI pour les échangeurs ouverts (source : [www.geothermies.fr](http://www.geothermies.fr))

D'après cette figure, le site est localisé en zone éligible à la GMI avec un avis d'expert.

## C.8. Avis sur une solution aquathermie

D'après les différents constats énoncés au chapitre ci-dessus, le réservoir qui sera sollicité par le projet présente un fort potentiel géothermique.

Ce dernier serait capable de fournir un débit supérieur à 100m<sup>3</sup>/h permettant ainsi de couvrir le besoin de la GMI sur nappe à savoir 80 m<sup>3</sup>/h au maximum. D'après les données bibliographiques présentées, un forage d'environ 30 m de profondeur devrait être mise en œuvre, à valider en fonction des besoins.

Ce débit d'exploitation théorique devra absolument être vérifié par la réalisation d'un forage d'essai avec essais de pompage et ré-injection.

On rappelle que des polluants organoleptiques volatils ont été identifiés à proximité du site, des analyses d'eau plus détaillées devront être réalisés afin d'évaluer la faisabilité réelle d'une installation géothermique sur nappe. Une étude spécifique de sites et sols pollués devra être réalisée.

C'est ce contexte de pollution qui est l'un des paramètres justifiant le régime réglementaire dans lequel se trouve le projet à savoir un site implanté en zone orange et qui nécessite donc un avis d'expert pour la réalisation de ce projet.



## D. OPPORTUNITE D'UNE SOLUTION SGV

### D.1. Préambule

La sonde géothermique verticale (SGV) est un échangeur thermique vertical scellé dans le terrain. Il s'agit de deux boucles de canalisation de type PEHD – PE 100 RC (DN 32 à DN 40) qui sont insérées dans un forage ( $\varnothing$  152 à 165 mm – 100 m de profondeur/TA voir plus, dans la limite de 200 m pour rester dans le cadre de la GMI) avant d'être cimentées au terrain par injection remontante d'un ciment à haute conductivité thermique ( $\lambda > 2$  W/m.K) et résistant aux eaux agressives.

Les canalisations PEHD permettent au fluide caloporteur de descendre puis de remonter au sein des sondes géothermiques. Les canalisations « allers » et « retours » de chaque sonde sont raccordées à un collecteur (deux nourrices « aller » et « retour ») lui-même connecté à une Pompe A Chaleur géothermique (P.A.C).

Le réseau primaire, ou boucle géothermale, est alors constituée par l'ensemble des sondes, ou champ de sondes, qui constituent un circuit fermé mis en mouvement par une pompe de circulation.

La solution de géothermie sur champ de SGV est une technique courante se référant à la norme NF X 10-970.

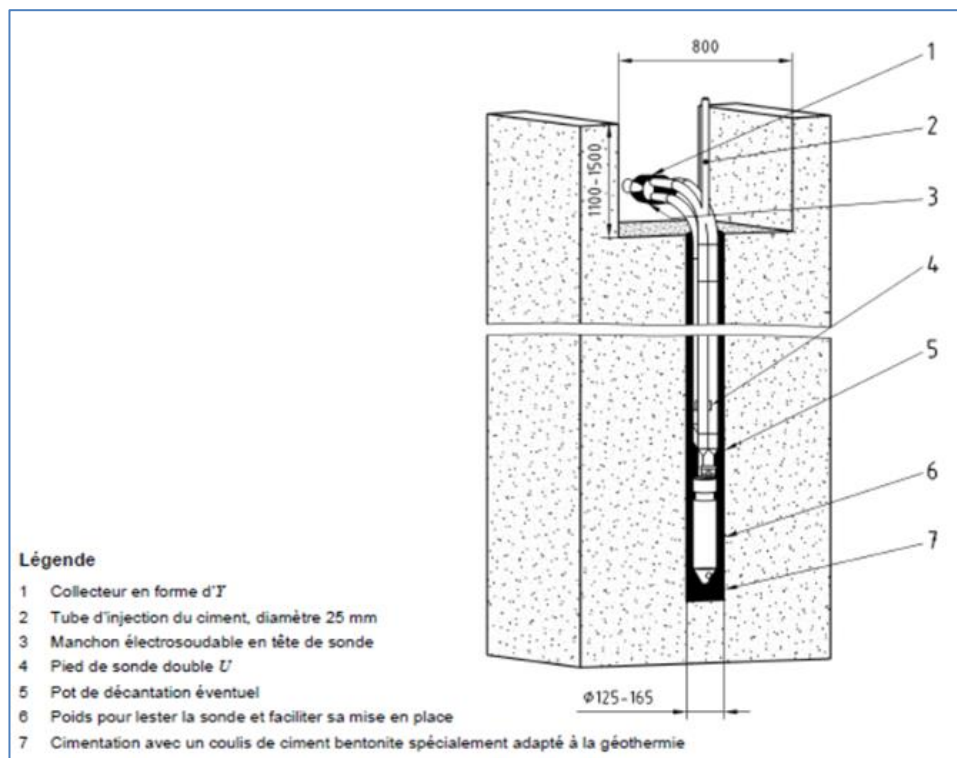


Figure 19 : Coupe schématique de SGV (NF X 10-970)

## D.2. Prescriptions techniques générales

### D.2.1. Géométrie d'un champ de sondes

La ressource géothermique disponible est strictement proportionnelle au volume d'échange et donc à l'espace disponible.

La géométrie d'un champ de sondes verticales (SGV) est liée à son exploitation. Une sollicitation équilibrée de la ressource en chaud et en froid (extractions et injections énergétiques équivalentes) peut être optimisée en concentrant les sondes de manière à favoriser le stockage énergétique.

A l'inverse, une exploitation avec une production thermique en chaud ou en froid uniquement, ou très déséquilibrée vis-à-vis de la sollicitation thermique souterraine, nécessite un espacement maximal entre les sondes et une implantation linéaire.

### D.2.2. Préconisation préalable d'implantation

La réalisation d'un champ de sonde suppose de disposer d'un espace disponible au droit de la zone de réalisation du projet.

Aussi, et en fonction des caractéristiques d'exploitation du champ de sonde et des interactions avec d'autres ouvrages, il conviendra de s'assurer du respect des distances suivantes par rapport au réseau de SGV.

Désignation	Distance
<b>Espace entre 2 SGV</b>	Environ 10 m
<b>Fondations de bâtiment</b>	3 m
<b>Réseau hydraulique en charge</b>	3 m
<b>Réseau hydraulique gravitaire</b>	1,5 m
<b>Limite de propriété</b>	5 m
<b>Arbres</b>	5 m

Tableau 9 : Distance préconisée par rapport au réseau SGV

Si l'implantation du champ de sonde se fait à proximité de bâtiments existant, l'interaction avec les fondations du bâtiment devra être validée par un géotechnicien.

Des aménagements peuvent être établis en fonction des températures d'exploitation du champ de SGV et des préconisations techniques peuvent être définies dans le cas où certaines distances au réseau de géothermie ne pourraient être respectées.

Ainsi, en cas de croisement de réseau hydraulique à une distance inférieure à celle préconisée, il est nécessaire de prévoir l'ajout d'isolant thermique

La surface du site hors bâtiment existant est d'environ 4,5 ha en reprenant une distance minimale de 10m entre chaque sonde, il est possible d'implanter environ 4000 sondes sous réserves d'un test de réponse thermiques et des aménagements réels prévus au droit du site.

## D.3. Caractérisation et gestion des cuttings

La réalisation de sonde verticale générera un volume de terres non négligeable qui devra faire d'une gestion équilibrée pour limiter la production de déchets de chantier et de s'assurer de la compatibilité environnementale des déblais avec les futurs usages du projet.



A titre indicatif, le volume non foisonnée de terres qui devrait être généré par la réalisation d'une sonde verticale de 200 m/TA forée en Ø165 mm serait théoriquement de l'ordre de 4 m<sup>3</sup>.

Les matériaux qui seront générés par les opérations de forage devront faire l'objet d'une caractérisation en cas de nécessité de les évacuer en hors-site.

**Nota : Le rapport d'études historique et documentaire, de vulnérabilité des milieux du site transmis par la SCI Marnaise indique que la source de pollution potentielle au droit du site serait contenue dans les remblais. Aucune caractérisation par le biais d'investigation n'a cependant été réalisée pour infirmer ou confirmer cette hypothèse.**

**Il y aura donc lieu de caractériser ces remblais et de préciser si nécessaire leur transfert dans une filière de traitement.**

## D.4. Potentiel énergétique du sous-sol

### D.4.1. Conductivité thermique du sol

#### D.4.1.1. Données théoriques

La publication « Geothermal energy and heat storage » du Dr D. PAHUD (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana – Dipartimento Costruzioni e Territorio), permet une évaluation de la conductivité thermique de différents sols.

Type de terrain	Conductivité thermique (W/(mK))			Capacité thermique volumétrique (MJ/(m <sup>3</sup> K))
	Min	Max	Valeur typique	
Calcaire	2.5	4	2.8	2.1-2.4
Sable sec	0.3	0.8	0.4	1.3-1.6
Marnes	1,5	3,5	2.1	2,2
Calcaire	2.5	4	2.8	-
Argile/limon (sec)	0.4	1	0.5	1.5-1.6
Argile/limon (saturé)	0.9	2.5	1.7	1.6-3.4
Argile (saturé en eau)	0.9	2.3	1.7	1.6
Quartzite	3.6	6.6	6	2.1-2.2
Granite	2.1	4.1	3.4	2.1-3.0
Schiste	1.5	2.1	2.1	2.2-2.5

Tableau 10 : Conductivité thermique issue de la bibliographie  
(Source : « Geothermal energy and heat storage » du Dr D. PAHUD)

#### D.4.1.2. Données bibliographiques

La quantité d'énergie ou la puissance qui peut être extraite du sol par unité temps et la vitesse à laquelle le sol récupère la température repose sur plusieurs facteurs qui sont la conductivité thermique, la capacité thermique et la diffusivité thermique.

Plusieurs modèles mathématiques sur une maille carrée de 500 m disponibles sur [Géothermie.fr](http://Géothermie.fr), ont permis d'appréhender la conductivité thermique moyenne (W/m/K), la température du sol par intervalle de profondeur et l'énergie extractible annuelle par mètre de profondeur.

Les estimations des paramètres thermiques attendus au droit du projet sont synthétisées dans le tableau suivant :

Profondeur (m)	Conductivité thermique (W/m/K)	Température moyenne du sous-sol (°C)	Energie extractible annuelle par mètre de profondeur pour une sonde unique (kWh/m/an)
Entre 0 et 50	2	12.1	89
Entre 0 et 100	2	12.4	92.7
Entre 0 et 150	2.1	12.8	100.1
Entre 0 et 200	2.1	13.4	103.6

Tableau 11 : Synthèse des paramètres thermiques du sol au droit du site (Source : [Géothermie.fr](http://Géothermie.fr))

D'après les données présentées dans le ci-dessus, le site présenterait une conductivité thermique moyenne de 2 W/m/K pour une température moyenne qui se situerait autour de 12.7°C pour une sonde de 0 à 200 m.

**NOTA :** Les valeurs de conductivité sont le résultat d'un calcul mathématique comportant des incertitudes et sont représentées à une maille carrée de 500 m. Les estimations de conductivités thermiques ne prennent pas en compte les phénomènes d'écoulement de nappe. Ces résultats doivent être considérés uniquement comme un outil d'information et ne peuvent se substituer à une étude de terrain avec au besoin un Test de Réponse Thermique.

#### D.4.1.3. Inventaire des ouvrages réalisés

Un inventaire des ouvrages SGV a été réalisé à partir de la base de données [Géothermie.fr](http://Géothermie.fr). Il a consisté à recenser les installations géothermiques fonctionnelles présent dans un rayon maximal de 20 km autour du site d'étude.

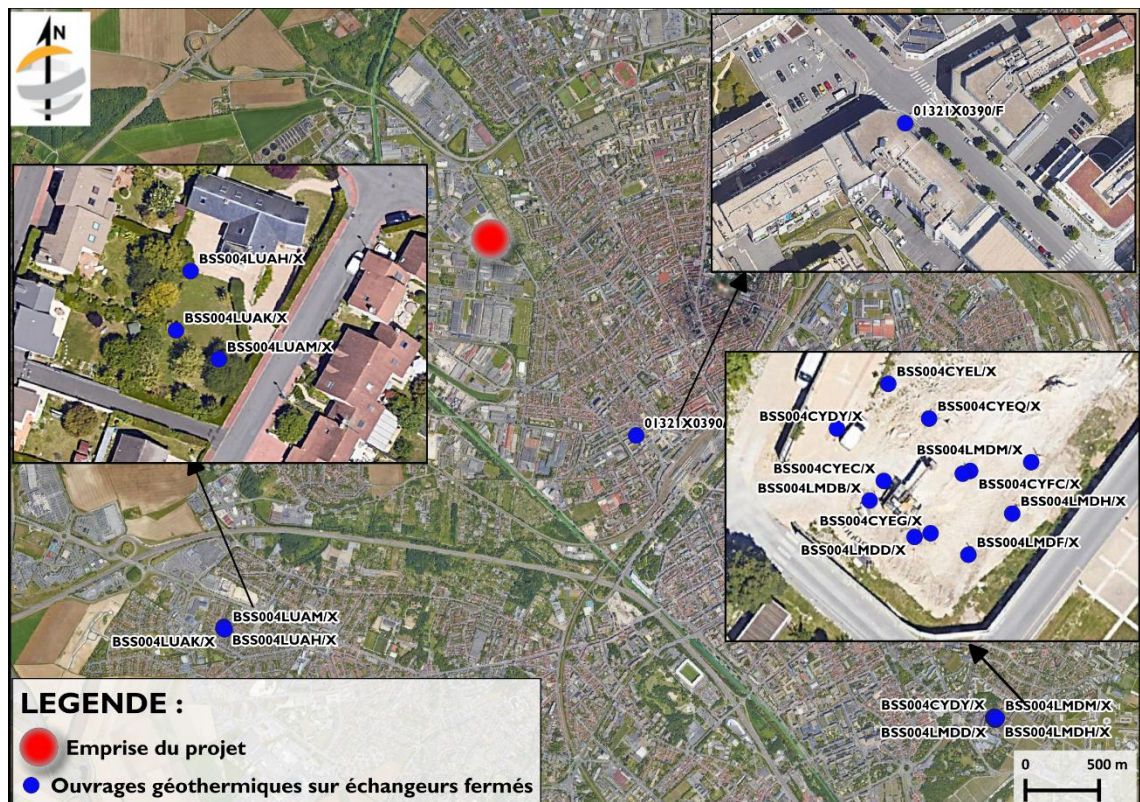


Figure 20 : Localisation des ouvrages géothermiques dans le secteur d'étude (Source : [Géothermie.fr](http://Géothermie.fr))



#### D.4.2. Recharge thermique du sol

En première approche, pour la suite de l'étude, il sera considéré que le ratio de recharge thermique théorique du sol est à l'équilibre.

**NOTA :** Cette hypothèse devra être vérifiée au stade faisabilité du projet.

#### D.4.3. Vitesse de Darcy

Nous estimons en première approche qu'aucun écoulement significatif d'eaux souterraines (vitesse significative pour des vitesses de Darcy supérieures à 0,5 m/j) n'est à signaler dans les 100 ou 200 premiers mètres de profondeur, hors fracturation.

#### D.4.4. Evaluation des besoins en sondes

La fourniture en besoin thermique maximale pour une solution de géothermique par sondes est de 500KW avec la réalisation de sondes à une profondeur de 200m au plus.

A ce stade aucune information sur le type et la performance de pompe à chaleur ne sont connues.

Le calcul de champ de sondes nécessaire à la fourniture de cette puissance de 500KW sera fait en considérant les hypothèses ci-après :

- Puissance d'extraction maximale de chaleur de 45 W/m (valeur moyenne d'après la bibliographie) ;
- Une sonde de 200m ;
- Puissance maximale de la GMI soit 500 KW.

En considérant les hypothèses ci-après et avec une règle de 3, 55 sondes sont nécessaires pour fournir la puissance maximale de la GMI.

Ce nombre de sondes suppose une surface au sol minimum de 550m<sup>2</sup>.

On rappelle que la surface du site hors bâtiment existant d'environ 4,5 ha. Bien que les aménagements ne sont pas encore connus à ce stade, le nombre de sondes calculés peuvent être installés au droit du site et ce ceci sous réserve d'un test de réponse thermique.

#### D.5. Zonage réglementaire

La figure suivante présente l'emplacement du projet vis-à-vis du zonage réglementaire définie par l'article 22-6 du décret n°2006-649.

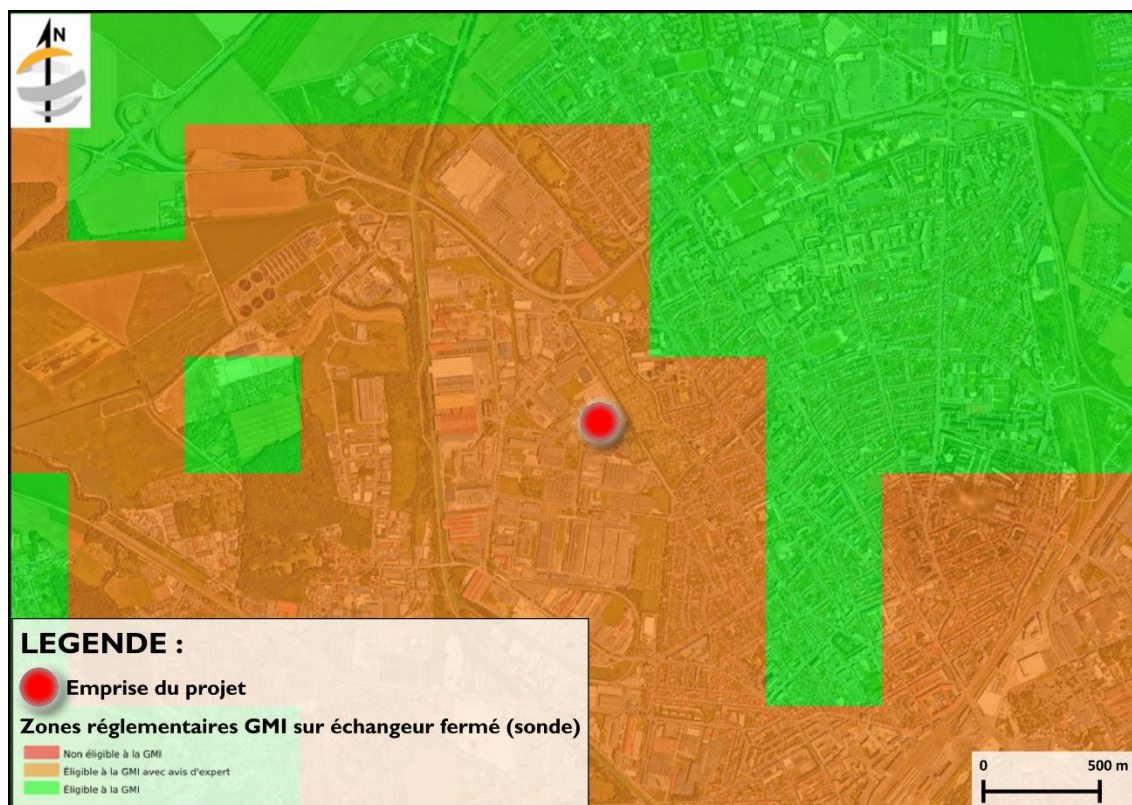


Figure 21 : Zones réglementaires GMI pour les échangeurs fermés (source : [www.geothermies.fr](http://www.geothermies.fr))

D'après la figure ci-dessus, le site serait éligible à la géothermie sur sonde avec un avis d'expert.

## D.6. Avis sur une solution SGV

Au vu des données présentées au chapitre ci-dessous la réalisation d'un champ de sondes au droit du site semble être envisageable bien que les aménagements et les besoins thermiques projetés ne sont pas encore connus. En fonction des besoins, la place disponible pourrait être un facteur limitant à cette solution, car un nombre important de sondes devra être réalisé.

Une sonde test accompagnée d'un test de réponse thermique (TRT) devra absolument être réalisé si cette solution est retenue.

On rappelle qu'une pollution des sols est connue dans le secteur et qu'il y aura de caractériser les sols en place pour vérifier cette pollution et de préciser si nécessaire leur transfert vers les filières adaptées.

On rappelle par ailleurs, que l'un des paramètres qui régit le classement du site en zone orange est la présence de pollution.



A large, stylized graphic of a globe or sphere. The top half is orange, and the bottom half is grey. The middle section is a white band containing a photograph of a modern glass building with greenery on its facade. The word 'fondasol' is written in orange lowercase letters across the white band, with a stylized grey and white sphere replacing the 'o' in 'sol'.

**fondasol**

**[www.groupefondasol.com](http://www.groupefondasol.com)**