

# Rapport d'étude

GEA250340

12/01/2026

INDICE : A

## Etude d'opportunité géothermie très basse énergie

Centre Hospitalier  
380 rue de l'Hôpital à Sallanches (74)

**REDACTEUR**

Paul CHAMBOISSIER

06 77 08 23 86



**Agence Auvergne-Rhône-Alpes**

5, rue des Essarts  
69500 BRON

04 81 68 25 19

lyon@geother-gengis.fr

**geother-gengis.fr**



## RÉFÉRENCES

Réf. devis : GED250547

Réf. du rapport : GEA250340

## CLIENT

Nom et adresse HOPITAUX DU PAYS DU MONT BLANC 30, Quai de l'Hôtel de Ville  
74700 Sallanches

Nom du contact et coordonnées M. VAUDEL [yoan.nicolo@sallanches.fr](mailto:yoan.nicolo@sallanches.fr)  
06 37 23 98 58

## INTERVENANTS GEOTHER

Rédacteur Paul CHAMBOISSIER  
GEOTHER  
5 rue des Essarts  
69500 Bron  
[p.chamboissier@geother-gengis.fr](mailto:p.chamboissier@geother-gengis.fr)  
06 77 08 23 86

Vérificateur Nicolas BERNARD  
[n.bernard@geother-gengis.fr](mailto:n.bernard@geother-gengis.fr)  
06 19 17 36 37

## STATUT DU RAPPORT

Version	Date	Détails
A	12/01/2026	Version initiale





# SOMMAIRE

1. INTRODUCTION .....	7
2. LOCALISATION DU PROJET .....	8
3. ESTIMATION DES BESOINS .....	10
4. PRINCIPE DE LA GEOTHERMIE .....	11
4.1. Généralités .....	11
4.2. Géothermie sur nappe .....	12
4.3. Géothermie sur sondes .....	12
4.4. Contexte administratif sommaire .....	13
4.4.1. Cadre général .....	13
4.4.2. Géothermie de Minime Importance .....	14
4.4.3. Cas d'une autorisation au titre du Code Minier .....	15
4.5. Analyse du contexte réglementaire du .....	20
5. CONTEXTE GEOLOGIQUE .....	21
5.1. Contexte géologique du projet .....	21
5.1.1. Données Locales .....	22
5.2. Capacités thermiques des terrains .....	26
6. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE .....	28
6.1. Masses d'eau en présence .....	28
6.2. Nappe des Alluvions de l'Arve au droit du projet .....	28
6.2.1. Généralités .....	28
6.2.2. Niveaux d'eau et écoulement .....	29
6.2.3. Paramètres physico-chimiques de la nappe .....	30
6.3. Capacités hydrodynamiques de l'aquifère ciblé .....	32
6.3.1. Forage AEP de Cayenne .....	32
6.3.2. Forages du Centre Nautique .....	32
6.3.3. Synthèse des données de productivité .....	33
7. CONTEXTE REGLEMENTAIRE .....	35
7.1. SDAGE .....	35
7.2. SAGE .....	35
7.3. Périmètres de protection .....	36
7.4. Risques naturels .....	37
7.4.1. Risque inondation .....	37
7.4.2. Risque mouvement de terrain .....	38
7.5. Zones naturelles .....	38



7.5.1.	Zones Natura 2000 .....	38
7.5.2.	ZNIEFF (Type I et II) .....	39
7.6.	Sites potentiellement pollués .....	40
7.7.	Conclusion sur les contraintes réglementaires .....	40
8.	ESTIMATION DU POTENTIEL GEOTHERMIQUE AU DROIT DU PROJET .....	41
8.1.	Rappel des besoins estimés pour le projet .....	41
8.2.	Géologie attendue au droit du projet .....	41
8.3.	Potentiel géothermique sur nappe .....	42
8.3.1.	Potentiel géothermique de la nappe .....	42
8.3.2.	Principe de l'implantation du doublet géothermique .....	43
8.3.3.	Recyclage thermique .....	44
8.3.4.	Dispositifs envisageables .....	46
8.3.5.	Programme de reconnaissance à envisager .....	47
8.3.6.	Incidences hydrodynamiques et thermiques attendues .....	49
8.4.	Géothermie sur champ de sondes : potentiel de la ressource .....	50
8.4.1.	Généralités .....	50
8.4.2.	Application du projet .....	51
8.4.3.	Contraintes constructives .....	52
8.4.4.	Investigations complémentaires .....	54
9.	ESTIMATION DES COUTS (BOUCLE PRIMAIRE) .....	55
9.1.	Budget estimatif géothermie sur nappe .....	55
9.1.1.	Solution 1 (un doublet captage-rejet - Diamètre 273 mm) .....	55
9.1.2.	Solution 2 (Deux doublets captage rejet – Diamètre 273 mm) .....	56
9.1.1.	Solution 3 (Un doublet captage rejet – Diamètre 600 mm) .....	56
9.2.	Budget estimatif géothermie sur sondes .....	57
9.2.1.	Possibilités de financement .....	58
10.	CONCLUSION .....	61



## TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des régimes réglementaires lié à une exploitation géothermique .....	20
Tableau 2 : Coupes lithologiques des forages / sondages réalisés sur site ou à proximité .....	24
Tableau 3 : Récapitulatif des résultats obtenus sur le site de l'Ecole de Danse de Sallanches (2023) .....	26
Tableau 4 : Paramètres chimiques de la nappe sur le site d'étude .....	30
Tableau 5 : Synthèse des données de l'essai de pompage du forage de Cayenne (Source : Atlasanté).....	32
Tableau 6 : Synthèse des données de l'essai de pompage du forage BSS001SGVD (Source : Infoterre) .....	33
Tableau 7 : Synthèse des données de l'essai de pompage du forage BSS001SGVE (Source : Infoterre) .....	33
Tableau 8 : Débits prélevables selon la hauteur d'alluvions rencontrées .....	42
Tableau 9 : Estimation des risques de recyclage thermique du projet (données bibliographiques).....	45
Tableau 10 : Synthèse des dispositifs envisageables.....	47
Tableau 11 : Linéaires estimatifs et seuils de puissances maximales théoriques .....	51
Tableau 12 : Surfaces au sol nécessaires suivant les puissances soutirées .....	53
Tableau 13 : Synthèse budgets prévisionnels d'une solution géothermique sur 50 sondes (GMI) .....	57
Tableau 14 : Synthèse budgets prévisionnels d'une solution géothermique sur 105 sondes (hors GMI).....	57

## FIGURES

Figure 1 : Localisation du projet sur fond carte IGN (Source : Géoportail) .....	8
Figure 2 : Localisation du projet sur fond orthophotographique (Source : Géoportail)...	9
Figure 3 : Détail du fonctionnement d'une pompe à chaleur .....	11
Figure 4 : Schéma du principe de la géothermie sur nappe (Source : BRGM).....	12
Figure 5 : Schéma du principe de la géothermie sur sondes (Source : Geothermies.fr) .....	13
Figure 6 : Zone réglementaire GMI pour les échangeurs fermés (sur sondes) et ouverts (nappe) jusqu'à 200 m de profondeur (Source : Géothermies) .....	15
Figure 7 : Localisation du projet au sein du contexte géologique local, d'après la carte au 1/50 000ème de Cluses (Source : Infoterre) .....	21
Figure 8 : Forages BSS identifiés à proximité du site d'étude (Source : Infoterre) .....	23
Figure 9 : Localisation du TRT le plus proche du projet (Site : Géothermies.fr) .....	26
Figure 10 : Coupe schématique du profil géologique local (Source : SAGE de l'Arve d'après BURGEAP/CPGF HORIZON).....	29
Figure 11 : Suivi de la température observée sur le forage AEP de Cayenne (2002-2026) – Source ADES .....	31



Figure 12 : Extrait cartographique des périmètres de protection de captages du secteur (Source : Atlasanté, ARS) .....	36
Figure 13 : Localisation du projet vis-à-vis du PPRN Inondation (Source : Géorisques) .....	37
Figure 14 : Localisation du projet vis-à-vis des zones d'exposition au retrait et gonflement des argiles (Source : Géorisques) .....	38
Figure 15 : Localisation des ZNIEFF les plus proches du projet (Source : Géoportail.fr) .....	39
Figure 16 : Implantation envisagée pour des zones de captage-rejet .....	44
Figure 17 : Coupe prévisionnelle du forage de reconnaissance proposé .....	49
Figure 18 : Optimisation d'un champ de sondes .....	52
Figure 19 : Emprises disponibles pour les implantations de sondes géothermiques .....	53



# 1. Introduction

Dans le cadre du projet de création d'un pôle énergie alimentant les bâtiments du centre hospitalier de Sallanches (74), les HOPITAUX DU PAYS DU MONT BLANC, Maitre d'Ouvrage du projet, souhaitent étudier les possibilités d'exploitation géothermique pour couvrir les besoins de chauffage et de rafraîchissement des locaux.

GEOTHER a été consulté par les HOPITAUX DU PAYS DU MONT BLANC pour la réalisation d'une étude de préfaisabilité de géothermie (nappe ou sondes) relative au « volet sous-sol » de l'opération.

Dans une étude de faisabilité géothermique, l'étude du volet sous-sol s'articule en généralement en 3 phases décrites ci-dessous :

- **Phase 1** : Etude de préfaisabilité et caractérisation de la ressource ;
- **Phase 2** : Investigations complémentaires (forage de reconnaissance et essais de pompage ou sonde pilote et test de réponse thermique) ;
- **Phase 3** : Phase de faisabilité (dimensionnement, modélisation des impacts).

L'ensemble de ces 3 phases constitue l'étude de faisabilité telle que demandée par l'ADEME dans son cahier des charges « étude de faisabilité mise en place de pompes à chaleurs géothermiques sur aquifère superficiel ou sur champ de sondes. ». Il est à noter que cette étude ne traite que de l'étude de la boucle primaire. En parallèle, une étude spécifique des besoins thermiques est réalisée conjointement par un BE fluides/thermique (idéalement OPQIBI 20.13).

**Le présent rapport correspond à l'étude de préfaisabilité du volet sous-sol (Phase 1).**

Cette étude rend compte d'une analyse géologique et hydrogéologique visant à appréhender le potentiel du sous-sol ou de la nappe pour subvenir aux besoins énergétiques des bâtiments. Cette première approche permet également d'estimer les puissances et énergies disponibles au droit du site, et les contraintes techniques et environnementales liées à la mise en œuvre d'une solution géothermique sur sondes et sur nappe ainsi que les enveloppes budgétaires associées à la partie forage.





Le centre hospitalier est localisé sur la rive gauche de l'Arve qui s'écoule du Sud vers le Nord à environ 250 m à l'Est du centre de la parcelle.

The map shows the town of Sallanches, France, with the Ruisseau de Bellegarde flowing through it. A yellow circle highlights the 'Le Relais de la Vallée Blanche' project location. The map includes a scale bar (0 to 500m) and a north arrow. Key locations labeled include Sallanches, les Paccots, les Tronchets, and les Golettes. The map also shows the D 113 road and the Ruisseau de Bellegarde.

Figure 1 : Localisation du projet sur fond carte IGN (Source : Géoportail)

- au Nord par la rue de l'Hôpital ;
- au Sud par le collège du Verney et la maison de retraite des Airelles ;
- à l'Est par le skate-park ;
- à l'Ouest par la véloroute du Léman qui borde le ruisseau de la Bialle.



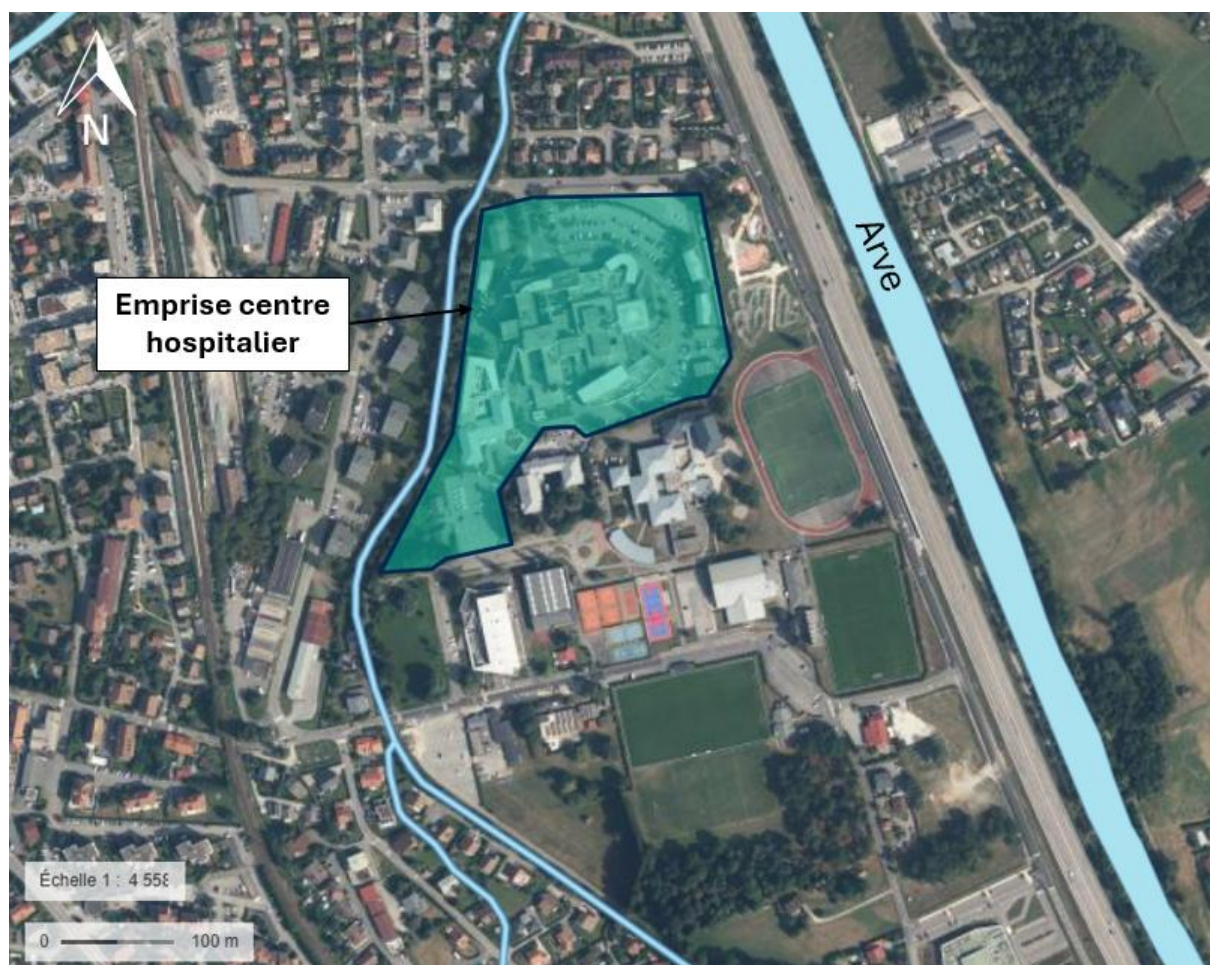


Figure 2 : Localisation du projet sur fond orthophotographique (Source : Géoportail)

La cote moyenne du terrain naturel est d'environ +540 m NGF.



### 3. Estimation des besoins

A ce jour, les besoins énergétiques estimés dans le cadre du projet sont de l'ordre de **1,6 MW ENR + 3 MW appoint secours Gaz**). Les besoins sont répartis comme suit :

#### Chauffage

- DJU référence : 2725 (station de Sallanches)
- Quantité annuelle : 4 950 MWh/an
- Régime de température : 80/85°C

#### Froid

- Puissance : 1300 kW

La pré-étude d'une solution géothermie menée par MANERGY a abouti à une estimation de dimensionnement de PAC géothermique de **1600 kW**.

Cette valeur sera considérée comme la puissance maximale à atteindre.

## 4. Principe de la géothermie

### 4.1. Généralités

La géothermie utilise la température du sous-sol pour en extraire ou y injecter des calories à partir de doublets de forages ou de sondes géothermiques verticales. La boucle géothermale peut être composée par des forages sur nappes ou par des sondes géothermiques qui sont ensuite couplés à une pompe à chaleur qui transfère ou évacue les calories d'un bâtiment pour le chauffer ou pour le rafraîchir.

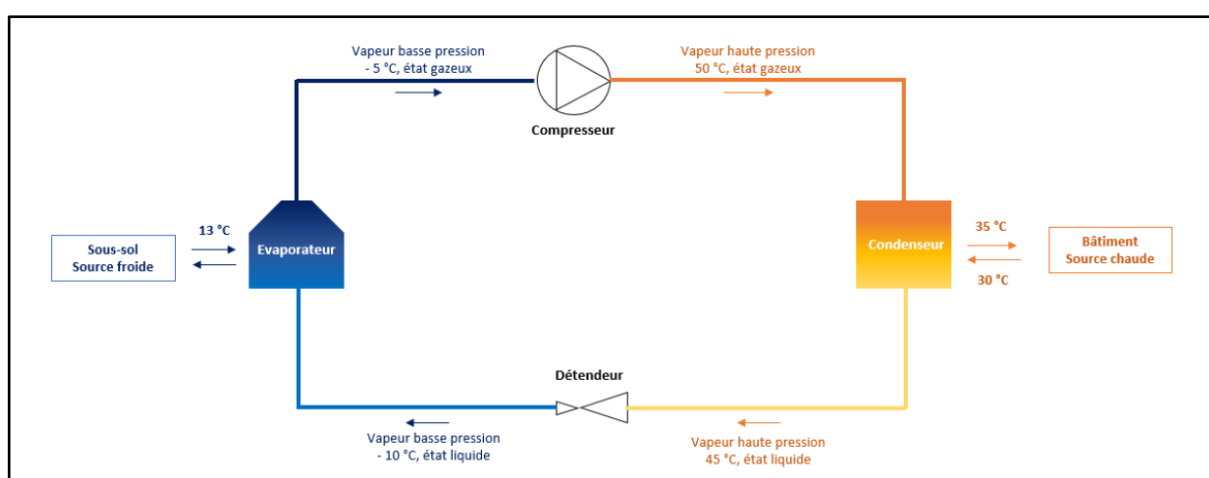


Figure 3 : Détail du fonctionnement d'une pompe à chaleur

Une pompe à chaleur (PAC) est un système thermodynamique qui fonctionne entre deux sources : une source froide et une source chaude.

Elle permet de transférer de l'énergie d'un niveau à basse température vers un niveau à température plus élevée. Ce transfert se fait via un fluide frigorigène et consomme de l'énergie, mais l'énergie totale restituée par la PAC est supérieure à l'énergie fournie au système ce qui permet donc une économie globale d'énergie primaire, ainsi qu'une diminution des émissions polluantes, à quantité égale d'énergie finale produite.

En règle générale, le rendement d'un tel dispositif avoisine les 400 % (Coefficient de performance de la pompe à chaleur = 4), ce qui signifie qu'à partir d'un doublet de forage ou d'un champ de sondes géothermiques couplé à une pompe à chaleur, il est possible de produire 4 fois plus d'énergie (énergie de chauffage ou de rafraîchissement) que ce que consomme en électricité la pompe à chaleur. En comparaison, une chaudière au gaz ou au fioul possède un rendement variant de 90 % à 110 %, soit nettement inférieur à la géothermie très basse énergie.

## 4.2. Géothermie sur nappe

La géothermie sur nappe est basée sur l'exploitation de la chaleur/énergie disponible dans les différents aquifères pouvant se trouver au droit du projet. Cette énergie est disponible tout au long de l'année dans les nappes souterraines.

Le dispositif de géothermie sur nappe consiste en l'implantation de doublets de forages : un forage de production (où l'eau du sous-sol est pompée) et un forage de réinjection (où l'eau pompée est réinjectée dans sa totalité).

Les calories ou frigories se trouvant dans l'eau pompée vont être extraites au niveau de la pompe à chaleur, via un échangeur à plaques.

L'eau est ensuite réinjectée dans le même aquifère.

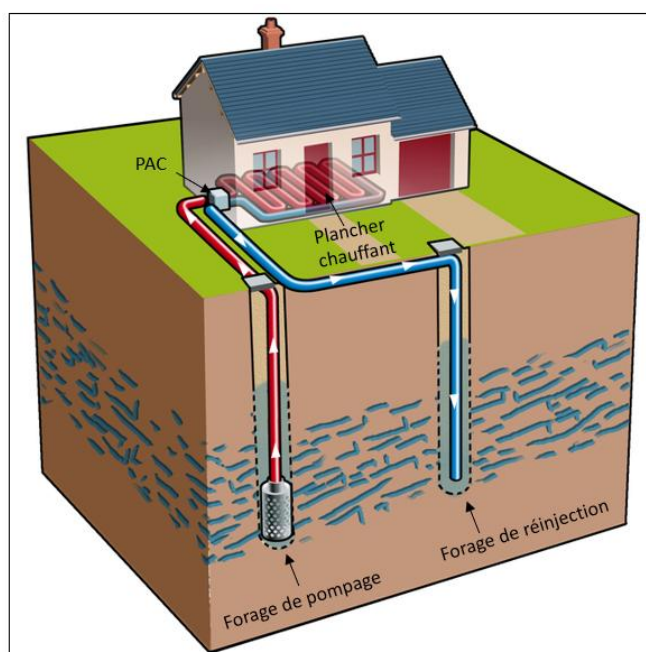


Figure 4 : Schéma du principe de la géothermie sur nappe (Source : BRGM)

## 4.3. Géothermie sur sondes

La géothermie sur champ de sondes repose sur l'exploitation de l'énergie calorifique/frigorifique, présente de manière permanente dans le sous-sol.

Le champ de sondes est constitué de plusieurs sondes verticales, contenues dans un béton thermique. Il est dimensionné selon les besoins du projet et selon la conductivité thermique des unités géologiques présentes au droit du projet. Les sondes sont ensuite reliées entre elles via des liaisons horizontales.

Le système correspond donc à un circuit fermé, dans lequel un fluide caloporteur circule. Lors de son passage dans les sondes géothermiques il va échanger de l'énergie thermique avec le sous-sol. Cette énergie captée est transmise au bâtiment grâce aux échanges au niveau de la PAC.

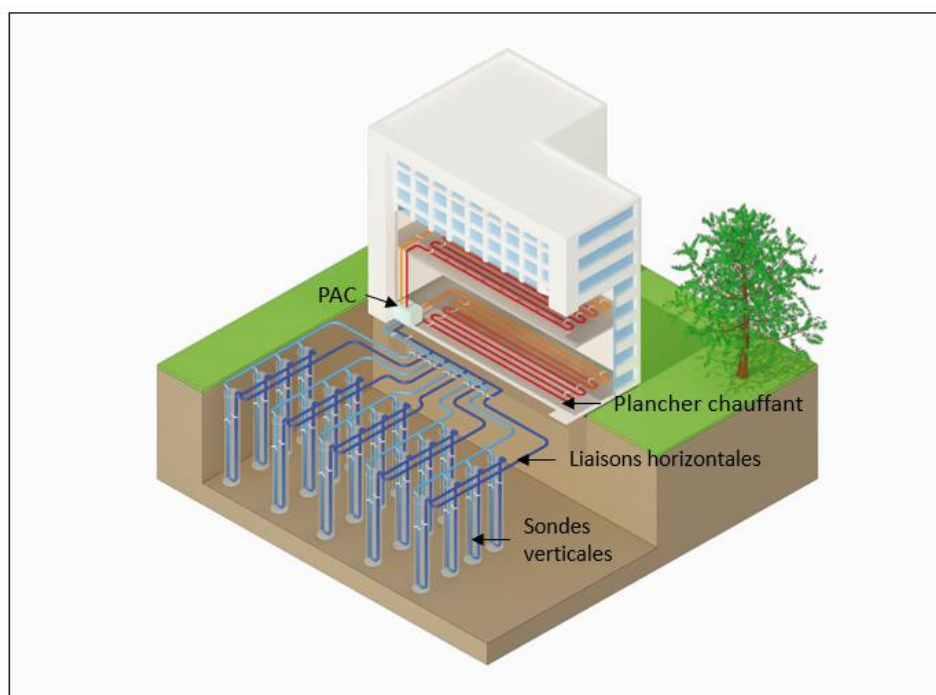


Figure 5 : Schéma du principe de la géothermie sur sondes (Source : Geothermies.fr)

## 4.4. Contexte administratif sommaire

### 4.4.1. Cadre général

Le cadre réglementaire relatif à la géothermie de minime importance a évolué depuis le 01/07/2015. En effet, le décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015 a modifié les deux décrets qui encadrent l'activité géothermique : le décret n° 78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie modifié et le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains modifié.

La géothermie est classée par le code minier sous quatre catégories dites :

- **Géothermie de haute température** : il s'agit de l'exploitation des gîtes dont la température de leurs eaux, mesurée en surface est supérieure à 150°C ;
- **Géothermie de basse température** : il s'agit de l'exploitation des gîtes dont la température de leurs eaux, mesurée en surface est inférieure ou égale à 150°C ;
- **Géothermie de minime importance** : cette dernière appartient à la géothermie basse température mais se distingue par des technologies et des moyens plus légers mis en œuvre pour exploiter la ressource thermique. Les critères de la géothermie de minime importance sont définis dans le paragraphe II de l'article 3 du décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié. Les conditions de mise en œuvre sont précisées dans le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains ;





- **Géothermie de surface** : située à moins de 10 mètres de profondeur. Les installations répondent aux conditions de l'article 2 du décret n° 78-498 du 28 mars 1978 modifié.

#### 4.4.2. Géothermie de Minime Importance

Les critères de la géothermie de minime importance sont :

- **Pour les échangeurs géothermiques fermés** (géothermie sur sondes) :
  - 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 ;
- **Pour les échangeurs géothermiques ouverts** (géothermie sur nappe) :
  - 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** ;
  - La température de l'eau prélevée en sortie des ouvrages de prélèvement est inférieure à 25 °C ;
  - Les eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère et la différence entre les volumes d'eaux prélevés et réinjectés est nulle ;
  - Les débits prélevés ou réinjectés sont inférieurs au seuil d'autorisation fixé à la rubrique 5.1.1.0 de l'article R. 214-1 du code de l'environnement (soit **80 m<sup>3</sup>/h**) ;

La réalisation des travaux de forages géothermique mis en œuvre pour l'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance (aussi dénommés ouverture de travaux d'exploitation d'un gîte géothermique) sont encadrés comme suit :

- Préalablement aux travaux de forage, l'activité géothermique répondant aux critères de la géothermie de la minime importance doit être télédéclarée ;
- Les forages doivent être réalisés par une entreprise qualifiée **CertiForage** (selon les conditions techniques prévues par l'arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance) ;
- La localisation d'un échangeur doit répondre aux prescriptions définies par l'arrêté relatif aux prescriptions générales applicables. En outre, selon la localisation de l'échangeur au regard de la carte des zones réglementaires en matière de géothermie de minime importance, une attestation de compatibilité est jointe à la déclaration. Cela est notamment requis lorsque le projet se situe dans la zone orange (avis positif d'un expert agréé). Les échangeurs ne doivent pas être situés sur une zone rouge pour être éligible à la géothermie de minime importance

**Le projet est localisé en zone verte, pour les échangeurs fermés et ouverts comme le montre la figure suivante. Aucun avis d'expert ne sera nécessaire.**

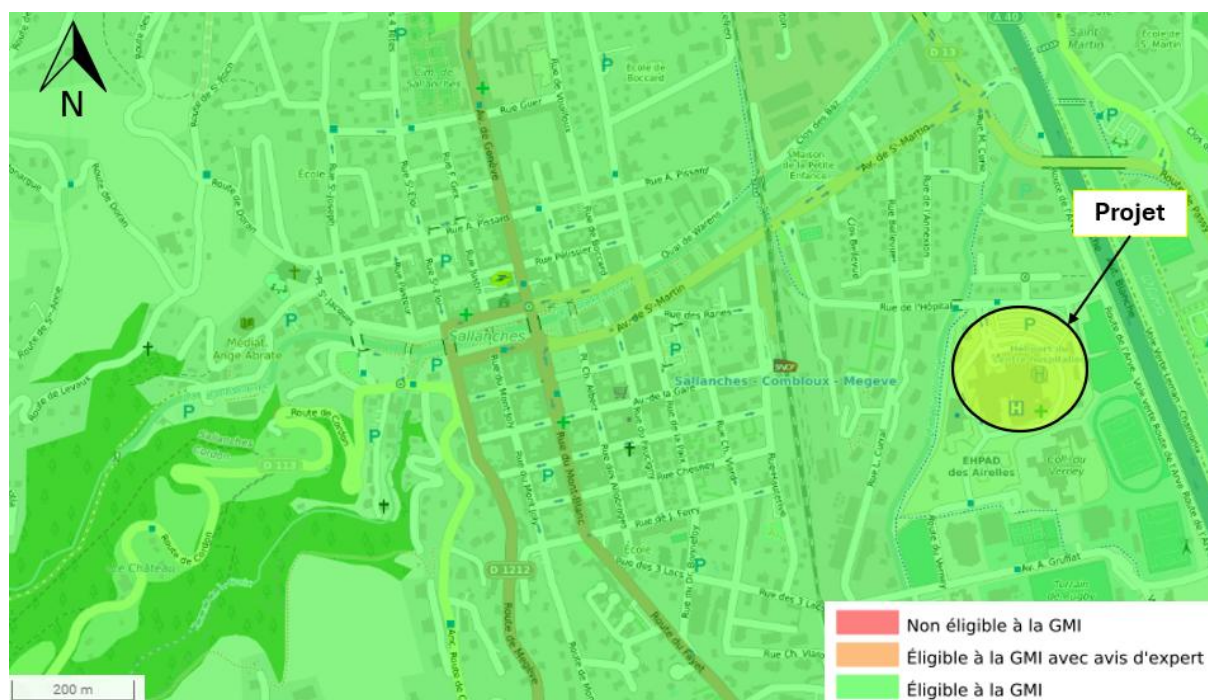


Figure 6 : Zone réglementaire GMI pour les échangeurs fermés (sur sondes) et ouverts (nappe) jusqu'à 200 m de profondeur (Source : Géothermies)

L'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance et sa cessation d'exploitation doivent être mises en œuvre conformément à l'arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance. Les travaux de cessation d'exploitation et le changement d'exploitant de la ressource sont à déclarer.

L'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance est notamment encadrée comme suit :

- L'exploitant d'un échangeur géothermique ouvert doit prendre en considération les ouvrages de prélèvement d'eau voisins, déclarés ou autorisés, et susceptibles d'être influencés par son activité.
- L'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance ne doit pas causer une variation de température de plus de **4°C à 200 m** des échangeurs géothermiques de production et de réinjection.
- La température maximale de réinjection de forages géothermiques ne doit pas dépasser **32 °C**.
- la température du fluide caloporteur dans les sondes (boucle fermée) doit être comprise entre **- 3 °C et + 40 °C**.

#### 4.4.3. Cas d'une autorisation au titre du Code Minier

Hors régime de minime importance et conformément à l'article L. 124-1-1 du code minier, sous réserve des 1° et 2° de l'article L. 124-1-2, les travaux de recherche de gîtes géothermiques ne peuvent être effectués que par le titulaire d'un titre minier d'autorisation de recherches ou de permis exclusif de recherches. Le choix du titre est à l'initiative du pétitionnaire, quelle que soit la puissance primaire du gîte géothermique projeté.



#### **4.4.3.1. Permis Exclusif de Recherches (PER)**

En application de l'article L. 124-2-1 du code minier, le permis exclusif de recherches de gîte géothermique confère à son titulaire l'exclusivité du droit d'effectuer tous travaux de recherches dans le périmètre qu'il définit et de disposer librement des substances extraites à l'occasion des recherches et des essais. Les substances connexes mentionnées à l'article L. 111-1 du code minier peuvent être extraites du fluide caloporteur à condition qu'il ne s'agisse que d'une activité complémentaire au programme principal de travaux de recherches de gîte géothermique.

Le périmètre sollicité par le demandeur doit être justifié en tenant compte des travaux prospectifs envisagés et de la constitution géologique de la région.

Le PER est accordé, après mise en concurrence, par arrêté ministériel pour une durée initiale maximale de 5 ans, renouvelable deux fois (sans mise en concurrence). Le contenu du dossier, visant à justifier des capacités techniques et financières du demandeur ainsi que son programme de travaux de recherches, est précisé dans le décret n°78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie. Le silence gardé pendant plus de deux ans par le ministre chargé des mines sur la demande de PER vaut décision implicite de rejet de cette demande.

L'ordonnance n°2022-536 du 13 avril 2022 modifie notamment l'article L. 124-2-3 du code minier en instaurant pour les nouvelles demandes de PER, une durée maximale de quinze ans, après mise en concurrence, à partir du 1er janvier 2024.

#### **4.4.3.2. Autorisation de recherches (AR)**

Conformément à l'article L. 124-3 du code minier, l'autorisation de recherches de gîte géothermique détermine, soit l'emplacement du ou des forages que son titulaire seul est habilité à entreprendre, soit le tracé d'un périmètre à l'intérieur duquel les forages peuvent être exécutés.

L'autorisation de recherches est accordée, après mise en concurrence et enquête publique, par arrêté préfectoral pour une durée initiale maximale de trois ans, non renouvelable. Le contenu du dossier, visant à justifier des capacités techniques et financières du demandeur ainsi que son programme de travaux, est précisé dans le décret n°78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie. Le silence gardé pendant plus de dix-huit mois par le préfet sur la demande d'autorisation de recherches vaut décision implicite de rejet de cette demande.



#### **4.4.3.3. L'exploitation d'un gîte géothermique - Un régime de l'autorisation**

Conformément à l'article L. 134-1-1 du code minier, les gîtes géothermiques ne peuvent être exploités qu'en vertu d'un permis d'exploitation ou d'une concession, délivrés par l'autorité administrative.

En cas de recherches fructueuses ou de contexte géologique maîtrisé, le pétitionnaire peut demander l'obtention d'un titre minier d'exploitation en vue d'exploiter la ressource trouvée / visée.

Les gîtes géothermiques sont exploités sous couvert d'un permis d'exploitation ou d'une concession selon que la puissance primaire est, soit inférieure, soit supérieure ou égale à 20 MW. La puissance primaire correspond à la puissance thermique primaire qui peut être prélevée du sous-sol sur l'ensemble du périmètre défini par un titre d'exploitation. Elle est fonction du débit d'eau en sortie du puits, de la température de la ressource et de la capacité calorifique de l'eau. Elle mesure le potentiel thermique de la ressource avant toute transformation, en tête de forage.

Le titulaire d'une concession ou d'un permis d'exploitation de gîte géothermique peut rechercher et extraire du fluide caloporteur les substances connexes mentionnées à l'article L. 111-1 du code minier.

Le titulaire du titre minier d'exploitation déposé après le 1er janvier 2020 doit communiquer périodiquement et au maximum tous les 5 ans à l'autorité qui délivre le titre, un suivi des critères concernant son caractère efficace d'opérateur, à savoir :

- Le maintien des installations exploitées dans des conditions garantissant leur performance ;
- L'utilisation de techniques appropriées pour une valorisation optimale de la ressource et sa préservation ;
- La quantité d'énergie produite et valorisée ;
- La quantité et le nombre de bénéficiaires directs et indirects de l'énergie produite ;
- La bonne intégration dans leur environnement des installations du projet ;
- Le coût moyen de production de l'énergie.

#### **4.4.3.4. Concession de gîte géothermique**

Conformément à l'article L. 134-2 du code minier, le titulaire d'une autorisation de recherches ou d'un permis exclusif de recherches de gîte géothermique a droit par priorité, si ses travaux ont fait la preuve qu'un gîte est exploitable, s'il en fait la demande avant l'expiration de ce titre minier et sous réserve de disposer des capacités techniques et financières nécessaires et de s'engager à respecter les conditions générales et le cas échéant spécifiques de la concession, à l'octroi de concessions sur les gisements exploitables découverts à l'intérieur du périmètre du titre minier de recherches précité pendant la validité de celui-ci.

Pour les concessions instruites selon les modalités antérieures de l'ordonnance n°2019-784 du 24 juillet 2019 et du décret n°2019-1518 du 30 décembre 2019 (c'est le cas des concessions faisant suite à des titres de recherche octroyés avant le 1er janvier 2020), la



concession est accordée par décret en Conseil d'État, sans mise en concurrence, pour une durée sollicitée par le pétitionnaire, qui ne peut excéder 50 ans.

Pour les concessions instruites selon les nouvelles modalités de l'ordonnance n°2019-784 et du décret n°2019-1518, la concession est accordée, après mise en concurrence – sauf cas visé à l'article L. 134-2 du code minier –, enquête publique et avis du CGEJET, par décret en Conseil d'État pour une durée initiale maximale de cinquante ans. La durée de concession est arrêtée de manière à permettre au titulaire d'atteindre des conditions de rentabilité économique équilibrée pour un investisseur avisé, en prenant en compte les coûts de recherches et d'exploitation et les risques associés au projet. Elle doit permettre l'amortissement des investissements réalisés pour la recherche du gîte géothermique, pour l'exploitation du gîte, y compris le cas échéant des substances connexes et pour l'amélioration de la connaissance de la ressource, avec un retour sur les capitaux investis.

La concession peut bénéficier d'un périmètre de protection permettant d'interdire ou de réglementer tous travaux souterrains pouvant porter préjudice à l'exploitation géothermique. Le contenu du dossier, visant à justifier des capacités techniques et financières du demandeur ainsi que son programme de travaux d'exploitation, est précisé dans le décret n°78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie. Le silence gardé pendant plus de trois ans par le ministre chargé des mines sur la demande de concession vaut décision implicite de rejet de cette demande.

La prolongation de la concession, pour une durée maximale de 25 ans, est également accordée par décret après consultation des services de l'État et des collectivités concernées, sans mise en concurrence et sans enquête publique. Le silence gardé pendant plus de deux ans par le ministre chargé des mines sur la demande de prolongation d'une concession vaut décision de rejet.

Pour les concessions accordées selon les modalités de l'ordonnance 2019-784 et du décret 2019-1518, la durée de prolongation de la concession est arrêtée selon les mêmes critères de rentabilité que pour l'octroi initial.

#### **4.4.3.5. Permis d'exploitation (PEX)**

Ce titre minier d'exploitation est accordé pour une durée maximale de 30 ans, prolongeable par périodes maximales de 15 ans.

Conformément à l'article L. 134-3 du Code minier, le titulaire d'une autorisation de recherches ou d'un permis exclusif de recherches de gîte géothermique a droit par priorité, si ses travaux ont fait la preuve qu'un gîte est exploitable, s'il en fait la demande avant l'expiration de ce titre minier et sous réserve de disposer des capacités techniques et financières, à l'octroi d'un permis d'exploitation qui englobe les emplacements des forages autorisés ou qui est situé en tout ou en partie à l'intérieur du périmètre de cette autorisation de recherches ou de ce permis exclusif de recherches.

Pour les permis d'exploitation qui ne font pas suite à des titres de recherches accordés avant le 1er janvier 2020, la procédure d'octroi du permis d'exploitation est identique à celle permettant l'octroi de l'autorisation de recherches. Le permis d'exploitation est accordé, après mise en concurrence – sauf cas visé au premier alinéa de l'article L. 134-3 du Code minier –





et enquête publique, par arrêté préfectoral. La durée du permis d'exploitation est arrêtée de manière à permettre au titulaire d'atteindre des conditions de rentabilité économique équilibrée pour un investisseur avisé, en prenant en compte les coûts de recherches et d'exploitation et les risques associés au projet. Elle doit permettre l'amortissement des investissements réalisés pour la recherche du gîte géothermique, pour l'exploitation du gîte, y compris le cas échéant des substances connexes, dans le respect des conditions prévues à l'article L. 161-2 du Code minier, et pour l'amélioration de la connaissance de la ressource, avec un retour sur les capitaux investis.

Le permis d'exploitation confère un droit exclusif d'exploitation dans un volume déterminé, dit « volume d'exploitation », défini par un périmètre et deux profondeurs. Le silence gardé pendant plus de dix-huit mois par le préfet sur la demande de permis d'exploitation vaut décision implicite de rejet de cette demande.

La prolongation d'un permis d'exploitation octroyé avant le 1er janvier 2020 est accordée par arrêté préfectoral après consultation des conseils municipaux. Le silence gardé pendant plus de douze mois par le préfet sur la demande de prolongation de permis d'exploitation vaut décision implicite de rejet de cette demande.

La prolongation d'un permis d'exploitation octroyé après le 1er janvier 2020 est également accordée par arrêté préfectoral, après mise en concurrence et enquête publique. La durée de prolongation du permis d'exploitation est arrêtée selon les mêmes critères de rentabilité que pour l'octroi initial. Le silence gardé pendant plus de dix-huit mois par le préfet sur la demande de prolongation de permis d'exploitation vaut décision implicite de rejet de cette demande.

#### **4.4.3.6. Les travaux miniers de recherches ou d'exploitation**

Toute ouverture de travaux miniers réalisée dans le cadre d'un titre de recherches ou d'exploitation est subordonnée soit à une autorisation soit à une déclaration suivant la gravité des dangers ou des inconvénients qu'ils peuvent présenter pour les intérêts mentionnés à l'article L. 161-1 du code minier.

Les travaux relevant du régime de la déclaration, concernent par exemple l'acquisition de données sismiques, avec une déclaration préalable au titre de l'article L. 411-3 du Code minier.

Les travaux de forage, entrepris dans le cadre de travaux de recherches ou d'exploitation, relèvent de l'autorisation (article 3 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains).

A partir du 1er juillet 2023, les travaux soumis à autorisation entrent dans le champ de l'autorisation environnementale conformément à l'article L. 181-1 du Code de l'environnement.



## 4.5. Analyse du contexte réglementaire du

Sur la base des besoins estimés à ce stade (puissance maximale de 1600 kW), le projet d'exploitation géothermique serait soumis à une procédure d'autorisation au titre du Code Minier.

Toutefois, compte tenu des procédures longues et complexes associées au régime d'autorisation, et pour des raisons de planning, le Maître d'Ouvrage souhaiterait que l'installation projetée reste dans le cadre du régime simplifiée de la GMI (géothermie de minime importance). **La puissance maximale d'extraction et de réinjection à la nappe ne pourra excéder 500 kW, soit un débit maximum de 80 m³/h.**

La synthèse des régimes associées aux deux régimes (GMI ou Autorisation) sont rappelés ci-dessous.

Tableau 1 : Synthèse des régimes réglementaires lié à une exploitation géothermique

Régime réglementaire	Puissance chaud ou froid appelé sur la ressource	Délais d'instruction	Procédure
Télédéclaration GMI	Inférieur 500 kW + respect intégral des critères rappelés au 4.4.2	15 jours	Simplifiée
Autorisation Code Minier	Supérieure 500 kW et/ou si un seul critère non respecté au 4.4.2	18 mois (minimum)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Demande d'autorisation</li><li>• Autorisation environnementale</li><li>• Enquête publique</li><li>• Etude d'impact</li></ul>

**Nota :** Compte tenu des possibles modifications du régime de la GMI intégrant une réhausse de la puissance maximale GMI à 2 MW (contre 500 kW), l'étude de potentiel de la ressource présentée dans ce rapport, intègre les possibilités d'exploitation maximales propre aux deux ressources (nappe et sondes), indépendamment du régime réglementaire associé.

Le Maître d'Ouvrage disposera ainsi de l'ensemble des contraintes associées aux 2 régimes réglementaires qui pourrait s'appliquer à une exploitation géothermique.

## 5. Contexte géologique

### 5.1. Contexte géologique du projet

Le site d'étude s'inscrit au sein de la vallée glaciaire de l'Arve et plus précisément dans la zone dite de l'ombilic de Fayet-Magland qui correspond à un important surcreusement des terrains encaissants par l'ancien glacier de l'Arve. Ce surcreusement a été rempli durant la période quaternaire sur de grande épaisseur par des matériaux détritiques résultants de dynamiques variables fluviales et/ou deltaïques, fluvio-glaciaires et glacio-lacustres.

D'après la carte géologique de Cluses au 1/50 000<sup>e</sup> présentée sur la figure ci-dessous, le projet se situe au droit des alluvions fluviales et torrentielles récentes (*Fz*) qui constituent généralement la partie sommitale du remplissage. Le substratum rocheux pourrait correspondre à des terrains jurassiques dit des Terres Noires (*j2-4*) ou des schistes (*I8-J1*)

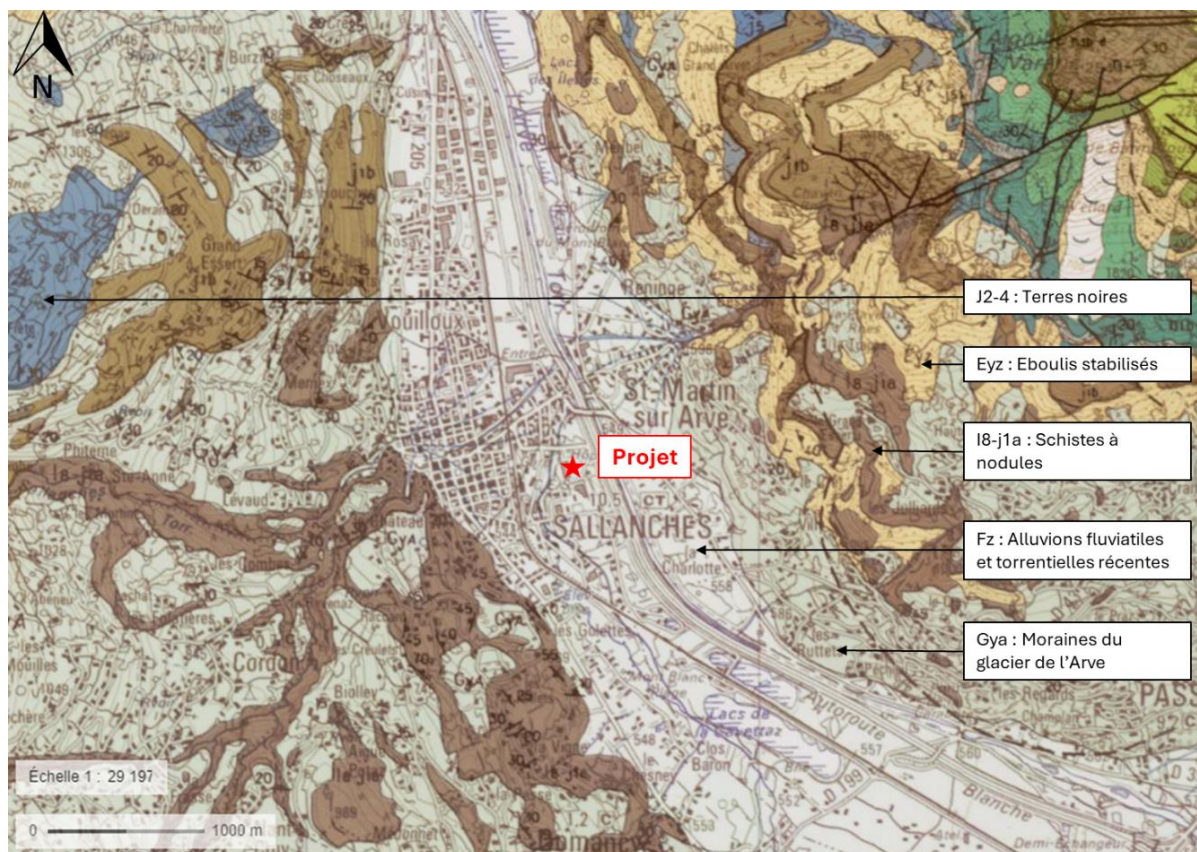


Figure 7 : Localisation du projet au sein du contexte géologique local, d'après la carte au 1/50 000<sup>e</sup> de Cluses (Source : Infoterre)

Les caractéristiques des unités géologiques qui semblent être identifiées au droit du site d'étude sont les suivantes.



### **Fz : Alluvions fluviales et torrentielles récentes**

Elles marquent les fonds de vallées. Elles constituent une plaine alluviale à cailloutis grossiers, avec une matrice sableuse et des passages argileux, élevée de 1 à 3 m au-dessus des cours d'eau actuels. Elles sont bien développées dans la vallée du Giffre, en aval du défilé de Perret, ainsi que dans la vallée de l'Arve et peuvent atteindre une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres.

### **j2-4 : Terres noires (Bathonien – Oxfordien)**

Cette formation se distingue du Dogger calcaire par raréfaction des bancs durs micritiques.

Elle est constituée de marnes noires schisteuses à patine gris sombre à gris beige. Cette unité est découpée verticalement comme suit :

- **Partie inférieure (premiers 40 m) :** passées de micrites argileuses, finement gréseuses et micacées, sont présentes ;
- **Partie moyenne (25 m environ) :** calcschistes argileux à patine gris beige, peu grésomicacés, riches en nodules ferrugineux centimétriques et en débris d'ammonites. Au milieu de ce niveau apparaît un faisceau de biomicrites argileuses, très finement gréseuses et micacées, en bancs décimétriques répartis sur 1,5 m d'épaisseur. La partie haute de cet horizon est à rapporter à l'Oxfordien ;
- **Partie supérieure (40 m environ) :** micrites argileuses noires, faiblement gréseuses et micacées, finement spathiques, pyriteuses, riches en gravelles calcareuses millimétriques noires ou rosées, surtout présentes dans la base. Ces bancs durs alternent avec des marnes argileuses schistosées un peu micacées, parfois microbréchiques, à éléments anguleux de micrites noires.

### **I8-j1a : Schistes à nodules (Toarcien – Bajocien)**

Schistes argileux noirs, mordorés, finement gréseux à nombreuses ponctuations d'oxydes de fer, parfois finement micacés. Ils hébergent des passées gréseuses minces, parfois des passées de biomicrites très gréseuses. Ils renferment sporadiquement des nodules de pélites grésomicacés (nodules silico-alumineux). Cette formation est éminemment ductile et se trouve affectée d'une importante schistosité de flux dans laquelle sont orientés les nodules.

#### **5.1.1. Données Locales**

La lithologie locale a été appréhendée en premier lieu par l'analyse des données de reconnaissances ponctuelles réalisées par la société 2 Savoie Géotechnique en mars 2019 (Mission G2 AVP – Extension du Self) et décembre 2019 (Mission G2 AVP – Aménagement 2eme IRM).

Ces reconnaissances (peu profondes) ont mis en évidence la présence d'alluvions grossières (sables, graviers et blocs) sous une couche de remblais d'aménagement comprise entre 1,5 et 2,5 m/TN environ. Cependant, l'épaisseur des alluvions plus profonde n'a pu être reconnue par ces sondages.

Par conséquent, ces données ont été complétées par l'analyse des coupes géologiques de sondages / forages recensés dans la banque de données du sous-sol réalisés dans un contexte similaire autour du projet.





Ces ouvrages sont localisés sur la figure suivante.

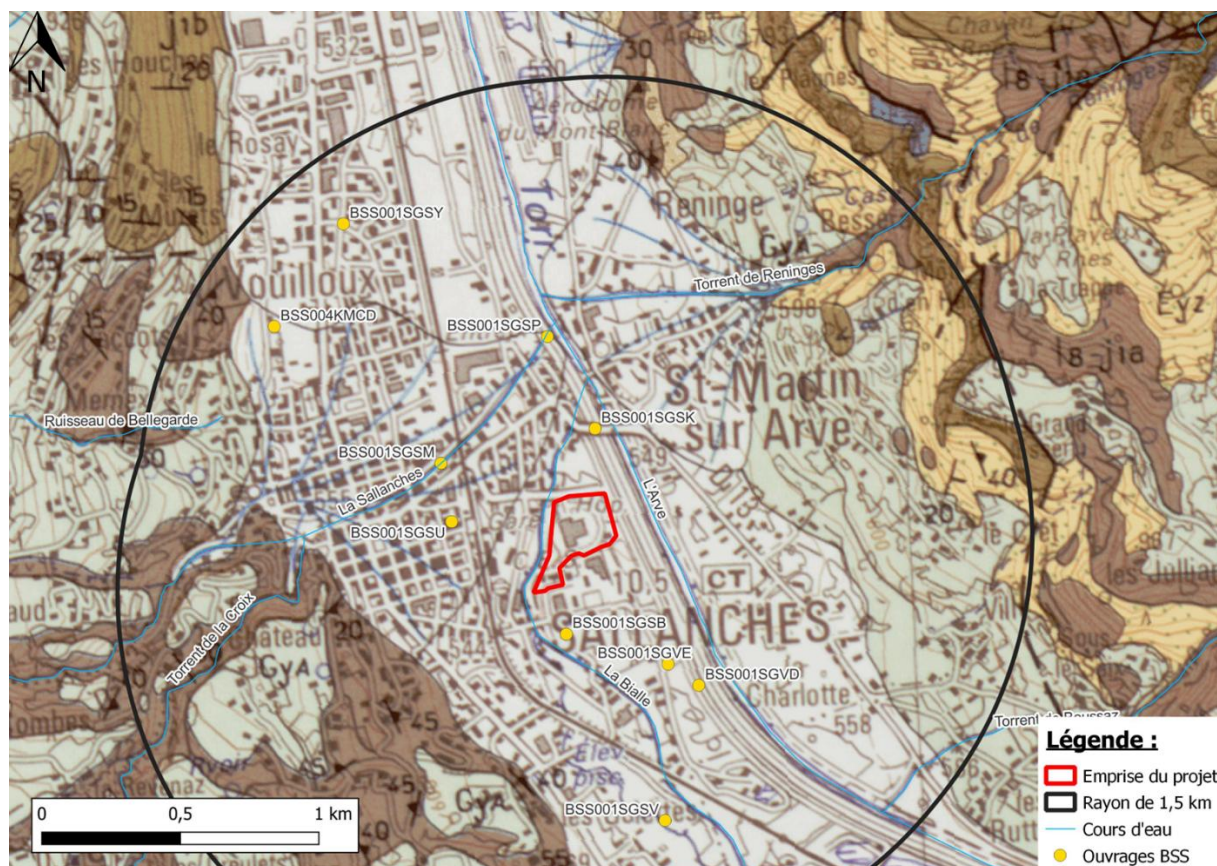


Figure 8 : Forages BSS identifiés à proximité du site d'étude (Source : Infoterre)

Les coupes lithologiques de ces différents ouvrages sont synthétisées dans le tableau suivant.





Tableau 2 : Coupes lithologiques des forages / sondages réalisés sur site ou à proximité

Nom / Code BSS	Profondeur de l'ouvrage	Localisation/site	Niveau d'eau	Coupe lithologique
<b>BSS001SGSB</b> (Forage de « Cayenne » / AEP)	12,5 m	350 au S	1,08 m/TN	0 - 0,45 m : Terre végétale 0,45 – 2,5 m : Argile grise sableuse 2,5 – 2,9 m : Limon noir 2,9 – 8,3 m : Sable, graviers et galets 8,3 – 9 m : Argile grise 9 – 12,2 m : Sable, graviers et galets 12,2 – 12,5 m : Argile grise
<b>BSS001SGSK</b>	30,5 m	235 m au N	2,80 m/TN 01/01/1975	0 – 2,50 m : Remblais 2,50 – 3,7 m : Graviers sableux et galets 3,7 – 4,3 m : Tourbe 4,3 – 10 m : Gravier, sable et galets 10 – 11 m : Limon sableux 11 – 13 m : Gravier, sable et galets 13 – 14 m : Limon sableux avec graviers 14 – 23,4 m : Gravier, sable et galets 23,4 – 26 m : Sable et graviers limoneux 26 – 30,5 m : Gravier, sable et galets
<b>BSS001SGSU</b>	13,5 m	365 m à l'O	8,5 m/TN 01/01/1976	0 – 1 m : Remblais 1 – 12,3 m : Bloc et argile 12,3 – 13,5 m : Argile
<b>BSS001SGSM</b>	20 m	430 m au NO	12,4 m/TN 29/10/1980	0 – 0,4 m : Terre végétale 0,4 – 4 m : Sable argileux 4 – 4,5 m : Graviers compacts 4,5 – 6,9 m : Argile 6,9 – 13,9 m : Sable et graviers plus ou moins argileux 13,9 – 14,8 m : Argile 14,8 – 17,8 m : Gravier et galet dans matrice sableuse 17,8 – 20 m : Argile graveleuse
<b>BSS001SGVE (rejet)</b>  Doublet Centre Nautique	12 m	500 m au SE	2,15 m/TN 03/2018	0 – 1 m : Terre végétale 1 – 2 m : Limon sableux avec quelques galets 2 – 12 m : Sable grossier avec galets et quelques passages argileux
<b>BSS001SGVD (captage)</b>		610 m au SE	2,4 m/TN 03/2018	
<b>BSS001SGSP</b>	20 m	580 m au N	- 01/05/1972	0 – 20 m : Sable graviers et galets
<b>BSS001SGSV</b>	11,5 m	925 m au S	4,15 m/TN 01/01/1976	0 – 2 m : Terre végétale 2 – 6 m : Gravier 6 – 6,5 m : Argile 6,5 – 11,5 m : Gravier >11,5 m : Argile
<b>BSS004KMCD (sonde géothermique)</b>	150 m	1,2 km au NO	- 03/2023	0 – 32 m : Graviers et galets de petite granulométrie, dans une matrice argileuse beige 32 – 54 m : Terrains argilo-sableux et localement graveleux 54 – 150 m : Schistes gris-noirs, avec de la calcite
<b>BSS001SGSY</b>	19,5 m	1,3 km au NO	1,9 m/TN 01/10/1989	0 – 1 m : Remblais 1 – 3,5 m : Gros galets et argile 3,5 – 6 m : Sable argileux 6 – 8 m : Tourbe 8 – 9,6 m : Argile sableuse 9,6 – 10,5 m : Graviers et galets argileux 10,5 – 15 m : Graviers 15 – 19,5 m : Sable argileux



L'analyse de ces coupes permet de corréler les observations réalisées sur les reconnaissances géotechniques déjà réalisées sur le site de l'Hôpital. La présence des alluvions grossières (sables, graviers, galets) est généralement présente sous une couche de remblais de 2,5 m à proximité de l'Arve, et qui devient plus importante à mesure que l'on s'en éloigne.

Les alluvions de l'Arve sont assez hétérogènes au regard des ouvrages recensés. Cependant, il existerait un remplissage type. Des horizons perméables (sables et graviers), reconnus sous les couches de remblais, sont présents sur une épaisseur d'une quinzaine voire localement à une vingtaine de mètres. De faibles couches d'argiles, voire limoneuse peuvent s'intercaler entre couches plus perméables de sables, graviers et galets. Localement les horizons perméables sont rencontrés jusqu'à une trentaine de mètres (BSS001SGSK).

Les ouvrages identifiés à proximité du site d'étude recoupent seulement cette frange perméable attribuables aux alluvions fluviales et torrentielles récentes et n'atteignent jamais le substratum rocheux jurassique (sauf l'ouvrage BSS004KMCD correspondant à une sonde géothermique et qui permet d'apprécier les schistes à partir de 54 m/TN).

Sur la base des données actuellement disponibles, la coupe lithologique prévisionnelle attendue au droit du site d'étude pourrait être la suivante :

- 0 – 2,5 m : Remblais ;
- 2,5 -15/20 m (30 m localement): terrains de remplissage alluvial majoritairement perméable (alternance de graviers, sable majoritaire avec niveaux d'argiles/limons) ;
- 15/20 – 55 m : terrains de remplissage glaciaires ou fluvio-glaciaires, plus ou moins argilo-sableux et localement graveleux (alternance de graviers, sable et argile) ;
- 55 – 150 m : Schistes (Terres Noires / Schistes à nodules).

**Cette coupe lithologique prévisionnelle semble confirmer la présence d'un réservoir aquifère perméable jusqu'à 15/20 m/TN.**

Néanmoins, compte tenu des variabilités observées et de la présence d'intercalations de niveaux argileux ou limoneux hétérogènes, il existe incertitude sur la nature exacte de la coupe au droit du site et notamment sur les terrains profonds.

Cette coupe prévisionnelle resterait donc à confirmer par un sondage de reconnaissance

## 5.2. Capacités thermiques des terrains

D'après les données disponibles dans l'espace cartographique du site **Géothermies**, un TRT est recensé (ouvrage BSS004KMCD - Tableau 2). Il a été réalisé par GEOTHER à proximité du site d'étude au droit de l'école de Danse à environ 1,2 km au Nord-Ouest du projet.



Figure 9 : Localisation du TRT le plus proche du projet (Site : Géothermies.fr)

Les résultats de ce TRT réalisé en avril 2023, sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Récapitulatif des résultats obtenus sur le site de l'Ecole de Danse de Sallanches (2023)

Paramètres	Valeurs mesurées
Température moyenne initiale	12,78 °C
Capacité calorifique volumique du terrain	2,0 à 2,3 MJ/m <sup>3</sup> .K
Conductivité thermique du terrain	6,61 W/m.K
Résistance thermique de la sonde	0,11 K/W.m <sup>-1</sup>

La conductivité thermique du terrain déduite de ce test (6,61 W/m.K) correspond à une valeur très favorable en vue de la mise en œuvre de sondes géothermiques. Cette valeur est probablement influencée par la présence d'eau observées lors du forage de la sonde (alluvions sablo-graveleuses puis argilo-sableuses saturées jusqu'à 54 m).



De manière sécuritaire, et pour intégrer une quantité d'eau possiblement moins importante sur le site, **une conductivité sécuritaire de 3 W/m.K** pourra être considérée (potentiel très favorable à la mise en place de sondes). La puissance extractible en chauffage sera considérée entre 48 à 52 W/ml.

En l'absence de données plus précise sur la nature des terrains profonds au droit du projet, il semble nécessaire de qualifier plus précisément la nature lithologique des horizons profonds et valider la forabilité des terrains. En effet, la présence d'horizons détritiques (alluvions) sur environ 50 m nécessitera en particulier de tuber jusqu'à retrouver le substratum schisteux dont la profondeur n'est pas connue vers l'hôpital.

Au droit du site, et en considérant une proximité à l'Arve, la puissance des alluvions pourrait être plus importante (zones de surcreusements). Si une solution sur sondes est envisagée, Il serait donc recommandé de réaliser une sonde pilote associée à un Test de Réponse Thermique (TRT) pour valider les capacités thermiques et les hypothèses déduites de données bibliographiques.



## 6. Contexte hydrogéologique

### 6.1. Masses d'eau en présence

Le site d'étude est inscrit au droit de la masse d'eau **FRDG364 des « Alluvions de l'Arve (superficielles et profondes) »**. En effet, le site du projet se situe au sein de la vallée de l'Arve. Il ne semble concerné que par cette masse d'eau.

### 6.2. Nappe des Alluvions de l'Arve au droit du projet

#### 6.2.1. Généralités

La masse d'eau des Alluvions de l'Arve s'étend du Massif du Mont Blanc et jusqu'à Genève. Sur le secteur du projet, la masse d'eau s'inscrit dans le bassin correspondant à l'ombilic<sup>1</sup> de Fayet-Magland. Dans ce bassin, le remplissage de terrains détritiques quaternaires est d'origine fluvatile et deltaïque, fluvio-glaciaire puis glacio-lacustre. Le remplissage peut être décomposé en trois sous-ensembles principaux.

Le remplissage superficiel en rive gauche de l'Arve (projet) serait ainsi d'abord constitué par des formations majoritairement de galets et graviers contenues dans une matrice plus ou moins argilo-sableuse émanant des formations récentes de l'Arve et des épanchements d'origine fluvio-glaciaires et deltaïque. Comme indiqué précédemment des niveaux plus argileux peuvent également s'intercaler localement du fait des dynamiques des dépôts fluvatiles et fluvio-glaciaires complexes (chenalisation, type de sédimentation).

Ces horizons perméables surmontent des formations fluvio-glaciaires plus anciennes plus sableuses ou argilo-sableuses que la frange superficielle, puis passe progressivement à des formations de faciès glacio-lacustres (argiles, sables et silts), voire franges morainiques beaucoup moins perméables du fait de leur lithologie.

Au sein de l'ombilic, des niveaux plus grossiers peuvent être rencontrés sous ces derniers horizons (sillon de l'Arve) et correspondent à des alluvions glaciaires et fluvio-glaciaires anciennes. Sur le secteur du projet (situé en terminaison Nord du remplissage), ces horizons sont probablement absents.

D'après les données bibliographiques recueillies sur la vallée de l'Arve et dans l'ombilic de Sallanches, le mur des formations quaternaires est très variable mais serait probablement assez profond (50 à 150 m). Dans la majeure partie des cas, le mur du/des aquifères perméables est considéré dès la rencontre des formations à dominante argileuse ou sablo-argileuses.

---

<sup>1</sup> Partie surcreusée d'une vallée glaciaire





Ces éléments sont illustrés sur la coupe de synthèse suivante :

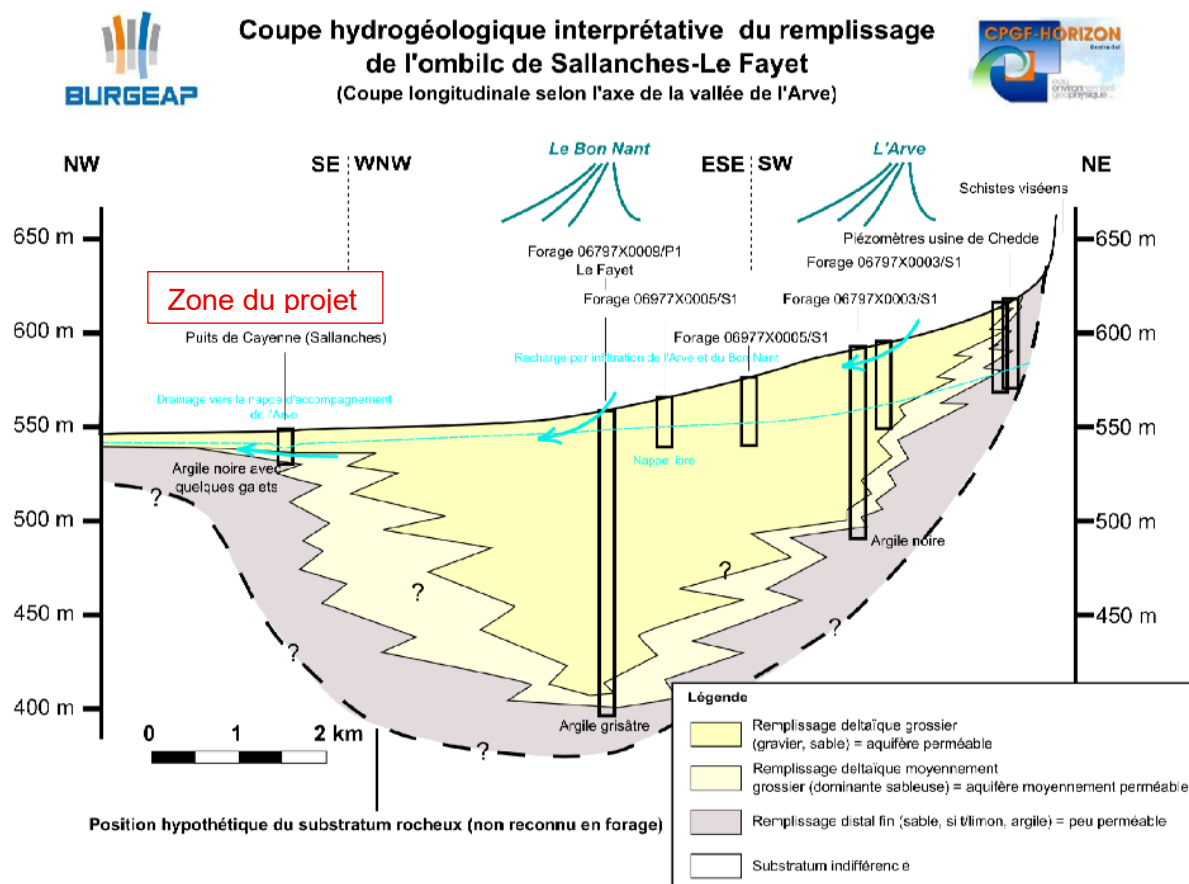


Figure 10 : Coupe schématique du profil géologique local (Source : SAGE de l'Arve d'après BURGEAP/CPGF HORIZON)

Le projet semble situé en limite de la zone principale du remplissage de l'ombilic. De fait, il est probable que l'épaisseur des niveaux perméables soit plus limitée vers l'hôpital que sur les secteurs plus au Sud et à l'Est (Domancy Fayet).

### 6.2.2. Niveaux d'eau et écoulement

Compte tenu de l'existence de plusieurs nappes superposées, en continuité hydraulique ou non, il n'existe aucune carte piézométrique précise. L'écoulement de la nappe contenue dans la frange superficielle doit s'effectuer globalement selon l'axe de la vallée, c'est-à-dire du Sud-Est vers le Nord-Ouest.

Les données disponibles et en particulier les reconnaissances géotechniques réalisées sur le site et les forages proches recensés (Cayenne, Centre Nautique), indiquent **des niveaux de nappe très proches du sol** (entre 1,5 et 2,5 m/TN). Cette caractéristique induira **nécessairement de vérifier les capacités d'injection des terrains et la viabilité du système de réinjection en cas de crues** (risques de débordement du forage de rejet en période de hautes eaux). Les fluctuations de la nappe sont généralement de l'ordre d'1 m et pourraient dans le cas de crues extrêmes atteindre 2 m ponctuellement.



La perméabilité de la nappe dite superficielle qui présente le plus grand potentiel est estimée à  $5.10^{-4}$  m/s (source Agence de l'Eau).

### 6.2.3. Paramètres physico-chimiques de la nappe

Nous ne disposons pas d'analyses récente au droit du projet. Néanmoins, la qualité a pu être appréciée, à partir des analyses réalisées sur le forage AEP de « Cayenne », situé à 180 mètres au sud du projet en 1984.

Ces résultats ont été retranscrits dans le référentiel du SEQ Eau qui permet d'apprécier la qualité de l'eau pour une installation de type géothermie sur nappe (Usage énergie). Il existe 5 classes d'aptitude de l'eau. Il existe 5 classes d'aptitude de l'eau dans le but de répertorier l'eau analysée dans un type d'usage spécifique (eau potable, industrie, énergie). Ces 5 classes sont : **très bonne, bonne, passable, mauvaise et inapte**, pour l'usage demandé.

Dans le cas présent, la qualité de l'eau souterraine est appréciée pour un usage énergétique. L'usage est analysé selon 3 catégories :

- La température de l'eau ;
- La corrosion de l'eau ;
- La formation de dépôts.

Les résultats de ces analyses sont retranscrits dans le tableau de synthèse ci-dessous :

Tableau 4 : Paramètres chimiques de la nappe sur le site d'étude

Paramètre	Résultat du prélèvement du 28/08/1984	Qualité générale de l'altération
Altération température – usage énergie		
Température (en °C)	12	Vert
Altération température – usage Pompes à chaleur		
Température (en °C)	12	Vert
Altération Corrosion		
CO <sub>2</sub> dissous (mg/l)	15	Vert
O <sub>2</sub> (mg/l)	5.6	
Salinité (g/l NaCl)	-	
Conductivité à 25°C (μS/cm)	780	
pH (unité pH)	7.2	
Chlorures Cl <sup>-</sup> (mg/l)	19	
Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l)	245	
Bactéries sulfatoréductrices (unité/ml)	0	
Sulfures HS <sup>-</sup> (mg/l)	0	
EH (mV)	0	
Altération Formation de dépôts		
pH (unité pH)	7.2	Jaune
EH – selon valeur du pH (mV)	134.8	
O <sub>2</sub> (mg/l)	5.6	
Féro-bactéries	0	
Indice de saturation selon valeur TAC	0.15	



Cette analyse met en évidence des **eaux seraient de type bicarbonaté calcique, très dures marquées par une forte teneur en sulfates**. Les eaux sont de fait **très agressives et corrosives** et ont une tendance à la dissolution.

Le risque de dépôts est jugé passable uniquement en regard du pH et de l'oxygène dissous. Toutefois, ces paramètres étant très variables, ce risque est à considérer avec réserve.

La température de l'eau a été mesurée à 12°C lors d'un prélèvement réalisé en 1988. Un suivi de la température est existant (source ADES) sur le forage de Cayenne proche. Ce suivi réalisé entre 2002 et 2026 permet de constater que la nappe peut évoluer au plus bas entre 9,2°C. et 14,2°C. Des pics de 17°C et 20,6°C ont toutefois été observés ponctuellement. Depuis 2012, ces températures exceptionnelles n'ont pas été retrouvés, et la température moyenne indique plutôt une valeur comprise entre 11 et 12°C.

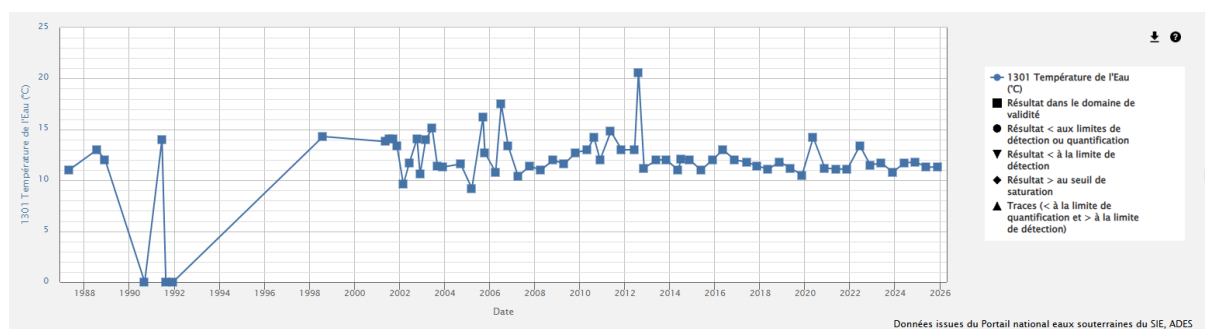


Figure 11 : Suivi de la température observée sur le forage AEP de Cayenne (2002-2026) – Source ADES

Globalement les eaux de la nappe présentent une qualité globale assez bonne pour l'usage géothermique. Néanmoins les **teneurs en sulfates imposeront une attention particulière sera portée sur les matériaux utilisés dans le cadre de l'installation géothermique**.

Il sera préconisé d'adapter les matériaux de la boucle géothermale primaire (colonne captante, exhaure, liaison horizontale et échangeur primaire), afin de limiter la corrosion des matériaux. Il faudra aussi prévoir des diagnostics et des entretiens réguliers du forage, dans le but d'anticiper la formation de dépôts sur les crépines. Si un passage vidéo est préconisé tous les 10 ans pour évaluer l'état du forage, il sera préconisé d'en réaliser 1 après la première année de fonctionnement.

L'ensemble du matériel d'exploitation devra être équipé en INOX (boulonnerie comprise) ou dans des matériaux non sensibles à la corrosion (PEHD).



### 6.3. Capacités hydrodynamiques de l'aquifère ciblé

Les caractéristiques hydrodynamiques locales ont été appréciées au moyen de deux installations référencées à proximité du projet. Il s'agit du forage AEP de Cayenne et de l'installation géothermique du Centre Nautique (doublet Géothermique).

#### 6.3.1. Forage AEP de Cayenne

L'ouvrage BSS001SGSB correspondant au forage AEP de « Cayenne », situé à 350 mètres au sud-Ouest du projet a fait l'objet de pompages lors de sa réalisation. Les données de pompage recueillies dans l'avis hydrogéologique du captage (1967) sont rappelées ci-dessous.

Tableau 5 : Synthèse des données de l'essai de pompage du forage de Cayenne (Source : Atlasanté)

Palier	Débit pompé (m <sup>3</sup> /h)	Rabattement (m)	Débit spécifique (m <sup>3</sup> /h/m)	Transmissivité déduite (m <sup>2</sup> /s)	Perméabilité estimée (m/s)
Forage de Cayenne Données 1967	119/189*/250*	1,1/2,19*/5*	108/86/50	$1,4 \cdot 10^{-2}$ à $3 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$ à $3,7 \cdot 10^{-3}$

\*Valeur peu fiable compte tenu de la lisibilité des documents datant de 1967

D'après ces données, les débits spécifiques observés étaient compris entre 50 et 108 m<sup>3</sup>/h/m soit une transmissivité comprise entre  $1,4 \cdot 10^{-2}$  et  $3 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s. En considérant la portion de nappe captée sur l'ouvrage (8 m), la perméabilité moyenne des horizons testées serait de l'ordre de **1,7 à 3,7.10<sup>-3</sup> m/s**.

#### 6.3.2. Forages du Centre Nautique

Un doublet géothermique (captage + rejet) pour lesquels des essais de pompage ont été réalisés sont identifiés à proximité du site d'étude (cf. Tableau 2). Ces ouvrages ont été testés en circuit réel en mars 2018 dans le cadre de la construction du centre nautique de Sallanches. Pour rappel, cette installation se situe à environ 500 mètres au sud-est du projet.

- **Forage de captage du Centre Nautique (BSS001SGVD)**

Le forage de captage a été réalisé en septembre 2016 à une profondeur de 12 mètres, selon la technique de forage en benne preneuse. Il est équipé en INOX diamètre 508 mm et est crépiné sur 8 mètres en partant de sa base. Le débit d'exploitation de cette installation serait estimé à 80 m<sup>3</sup>/h.

Les essais de pompage ont permis d'apprécier les paramètres aquifères de la nappe alluviale comme le montre le tableau ci-dessous.





Tableau 6 : Synthèse des données de l'essai de pompage du forage BSS001SGVD (Source : Infoterre)

Palier	Débit pompé (m³/h)	Rabatement (m) /Charge	Débit spécifique (m³/h/m)	Transmissivité déduite (m²/s)	Perméabilité estimée (m/s)
Forage de captage du centre nautique de Sallanches	35,5/67,7/88/113	0,08/0,31/0,42/0,56	444/218/210/202	$5,6.10^{-2}$ à $1,2.10^{-1}$	$7.10^{-3}$ à $1,5.10^{-2}$

D'après ces données, les débits spécifiques observés étaient compris entre 202 et 444 m³/h/m soit une transmissivité comprise entre  $5,6.10^{-2}$  et  $1,2.10^{-1}$  m²/s. La perméabilité moyenne des horizons testés (8 m) serait de l'ordre de  $7.10^{-3}$  à  $1,5.10^{-2}$  m/s.

- **Forage de rejet (BSS001SGVE)**

Lors de la réalisation du forage de réinjection pour le centre nautique de Sallanches, un essai vrai grandeur (pompage/injection) par palier a pu être réalisé en mars 2018 sur le forage de réinjection. Les données de cet essai sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Synthèse des données de l'essai de pompage du forage BSS001SGVE (Source : Infoterre)

Palier	Débit pompé (m³/h)	Niveau dynamique (m/sol)	Charge (m)	Débit spécifique injection (m³/h/m)	Durée (min)
-	0	2,09	0	-	-
1	35,5	1,99	0,10	355	60
2	67,7	1,77	0,32	212	60
3	88	1,64	0,45	196	60
4	113	1,50	0,59	192	60

L'injection met en évidence une charge hydraulique globalement stabilisée d'environ +0,59 m dans le forage de rejet en essai de longue durée et à un débit fixé à 113 m³/h. Les capacités d'injection des terrains semblent équivalentes aux débits spécifiques déduits du pompage par palier, ce qui traduit une forte capacité d'absorption des terrains.

### 6.3.3. Synthèse des données de productivité

L'ensemble des données recueillies sur ces ouvrages semblent donc confirmer :

- La présence d'un réservoir aquifère entre 0 et 12 m minimum
- Une productivité en pompage comprise entre 50 et 400 m³/h/m
- Des capacités d'injection favorables malgré un niveau de nappe proche du sol (Centre Nautique)
- Une perméabilité supérieure aux données bibliographiques (de l'ordre de  $1,7.10^{-3}$  à  $1,5.10^{-2}$  m/s) jugée favorable à très favorable à une exploitation géothermique



Le potentiel géothermique sur la nappe existerait sur le site. Cependant, la **productivité des alluvions reste fortement dépendante de la nature lithologique de ces dernières.**

Le projet se situant en limite de remplissage de l'ombilic (cf. coupe en figure 10), les alluvions grossières pourraient être plus limitées en épaisseur et présenter une dominante plus argileuse et donc moins perméable. En effet, les deux forages analysés sont situés au Sud du site sur une zone plus favorable. Toutefois, la proximité de l'Arve pourrait également impliquer un remplissage plus grossier comme l'illustrent très bien les différences de productivité observées entre le forage de Cayenne et les ouvrages du Centre Nautique. L'absence d'ouvrage productif au Nord semble également confirmer ces approches.

Bien que le potentiel soit jugé favorable, il sera recommandé de procéder à des travaux de reconnaissance sur le site, pour confirmer ces premiers éléments et valider l'absence d'aléa géologique particulier.



## 7. Contexte réglementaire

### 7.1. SDAGE

Institué par la loi sur l'eau de 1992, le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) est un instrument de planification qui fixe pour chaque bassin hydrographique, les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau entre tous les usagers (citoyens, agriculteurs, industriels). Renforcé par la Directive Cadre sur l'eau de 2000 et la loi sur l'eau de décembre 2006 (loi LEMA), le SDAGE fixe pour 5 ans les orientations qui permettent d'atteindre les objectifs attendus pour 2027 en matière de « bon état » des eaux.

Le SDAGE 2022-2027 du bassin Rhône-Méditerranée-Corse, approuvé le 21/03/2022, est un document de planification, résumant l'état des ressources en eau et décrivant les orientations de gestion et de politique générale. Il se traduit par un ensemble de mesures définissant les objectifs à atteindre, pour l'ensemble des milieux aquatiques et les orientations fondamentales pour la gestion équilibrée de la ressource en eau sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse.

Le SDAGE 2022-2027, dans son orientation OF « Améliorer la gestion quantitative » indique que pour toutes les masses d'eaux souterraines qui ne sont pas en bon état quantitatif, l'État ou le cas échéant les CLE, déterminent pour tous les usages le volume maximum prélevable compatible avec le bon état des aquifères en fonction d'indicateurs précis, tels que, par exemple, les niveaux piézométriques et la recharge.

**Aucune incompatibilité n'a été notée entre le projet et le SDAGE.**

### 7.2. SAGE

Le site d'étude est concerné par le **SAGE de l'Arve**. Ce dernier a été validé en juin 2018.

Les enjeux de ce SAGE sont :

- Mettre en œuvre une **gestion globale à l'échelle du bassin versant** en développant la sensibilisation, la pédagogie, la concertation et l'hydrosolidarité entre les collectivités du territoire ;
- **Améliorer la connaissance et assurer une veille** scientifique et technique ;
- **Anticiper l'avenir** en intégrant les perspectives de développement urbain et touristique des territoires et les conséquences probables du changement climatique ;
- **Améliorer la prise en compte de l'eau dans l'aménagement du territoire** ;
- Poursuivre l'**amélioration de la qualité de l'eau**, en prenant en compte des sources de pollution émergentes : réseaux d'assainissement, pluvial, décharges, agricole, substances prioritaires ;
- **Garantir la satisfaction des usages et des milieux**, en tenant compte de la ressource disponible et restaurer les équilibres sur les secteurs déficitaires ;

- **Préserver et restaurer les milieux aquatiques et humides**, notamment les forêts alluviales, pour leurs fonctionnalités hydrologiques et écologiques et les valoriser comme éléments d'amélioration du cadre de vie ;
- **Rétablir l'équilibre sédimentaire des cours d'eau du bassin versant**, préserver leurs espaces de liberté et restaurer la continuité piscicole et les habitats aquatiques, en prenant en compte les enjeux écologiques et humains ;
- **Améliorer la prévision et la prévention pour mieux vivre avec le risque**, réduire l'impact des dispositifs de protection sur l'environnement et garantir la non-aggravation en intégrant le risque à l'aménagement du territoire.

**Aucune incompatibilité n'a été notée entre le projet et le SAGE de l'Arve.** De plus, il est important de noter que le projet ne se trouve pas dans une des zones stratégiques définies par le SM3A.

### 7.3. Périmètres de protection

D'après les données disponibles dans la banque de données (Carto, Atlasanté), le site du projet n'est pas concerné par les zonages des périmètres de protection des captages AEP du secteur.

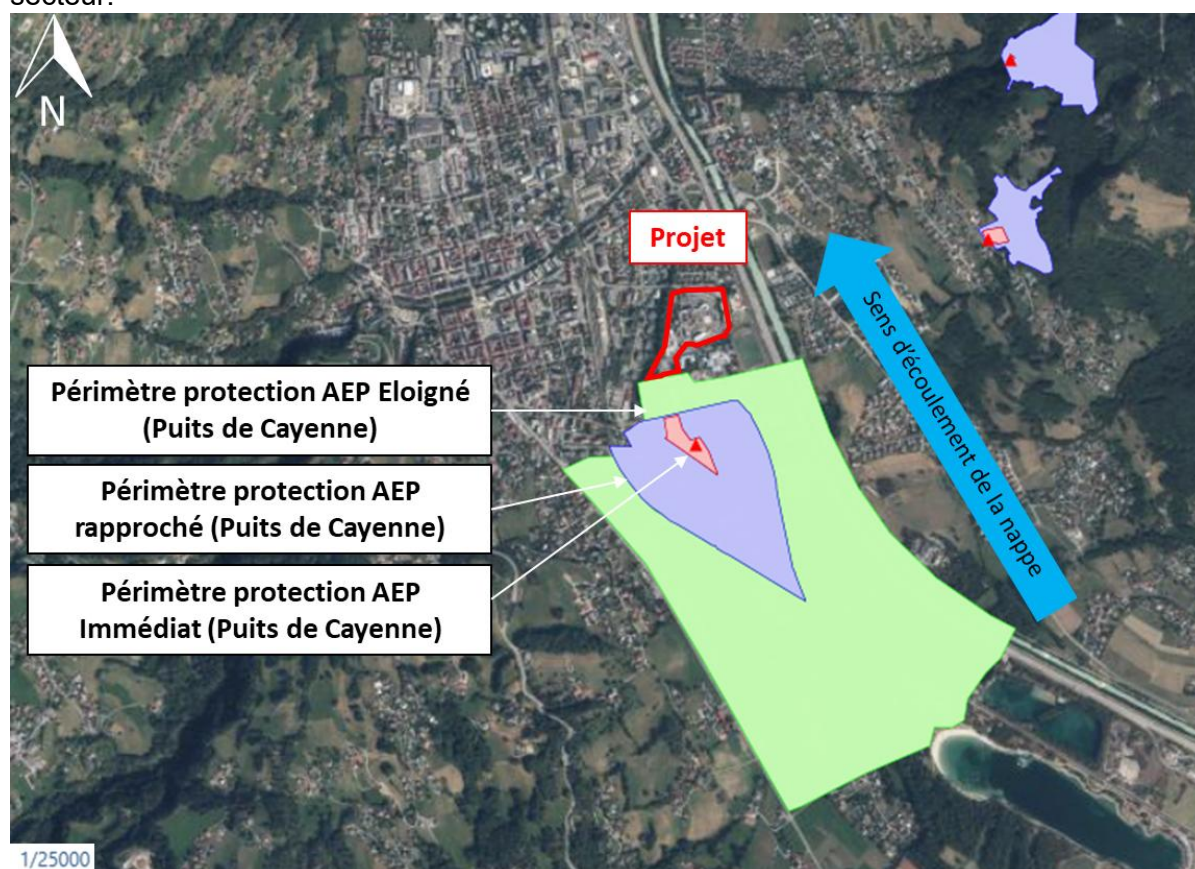


Figure 12 : Extrait cartographique des périmètres de protection de captages du secteur (Source : Atlasanté, ARS)

En effet, le périmètre éloigné du captage AEP le plus proche du projet (forage de Cayenne – Ouvrage BSS001SGSB) se trouve en bordure sud du site d'étude. A noter que le projet, se



trouve en aval hydraulique du captage AEP, ce qui, par conséquent, n'est pas de nature à impacter ces captages thermiquement et hydro dynamiquement. L'incidence hydrodynamique sera présentée dans la suite de ce rapport.

## 7.4. Risques naturels

### 7.4.1. Risque inondation

Tel que mis en évidence sur la figure ci-dessous, le site d'étude est concerné par un PPRN inondation.

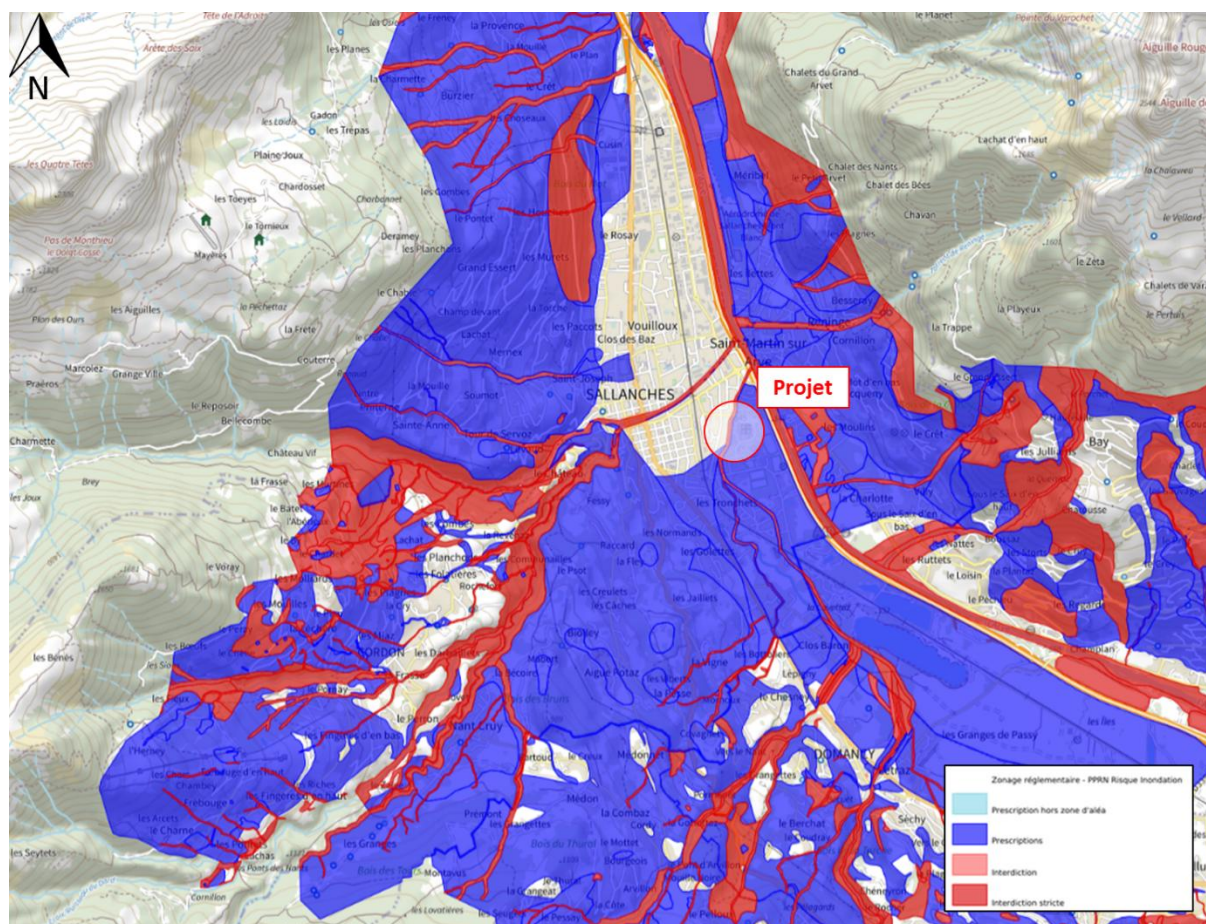


Figure 13 : Localisation du projet vis-à-vis du PPRN Inondation (Source : Géorisques)

Si le projet se situe sur une zone de risque d'aléa faible, la mise en place de tête étanche sur les forages constituant le doublet géothermique, dans le cadre d'une installation sur nappe, sera de rigueur pour éviter toute infiltration des eaux superficielles dans la nappe. De plus, une attention particulière devra être portée sur le niveau de la nappe en période de hautes eaux et notamment sur le forage de réinjection, pour réduire et limiter le risque de débordement des eaux.

### 7.4.2. Risque mouvement de terrain

Le projet se trouve au droit d'une zone avec une exposition faible au retrait-gonflement des argiles, tel que mis en évidence sur la figure ci-dessous. De plus, il n'est pas concerné par un PPRN Mouvement de terrain.

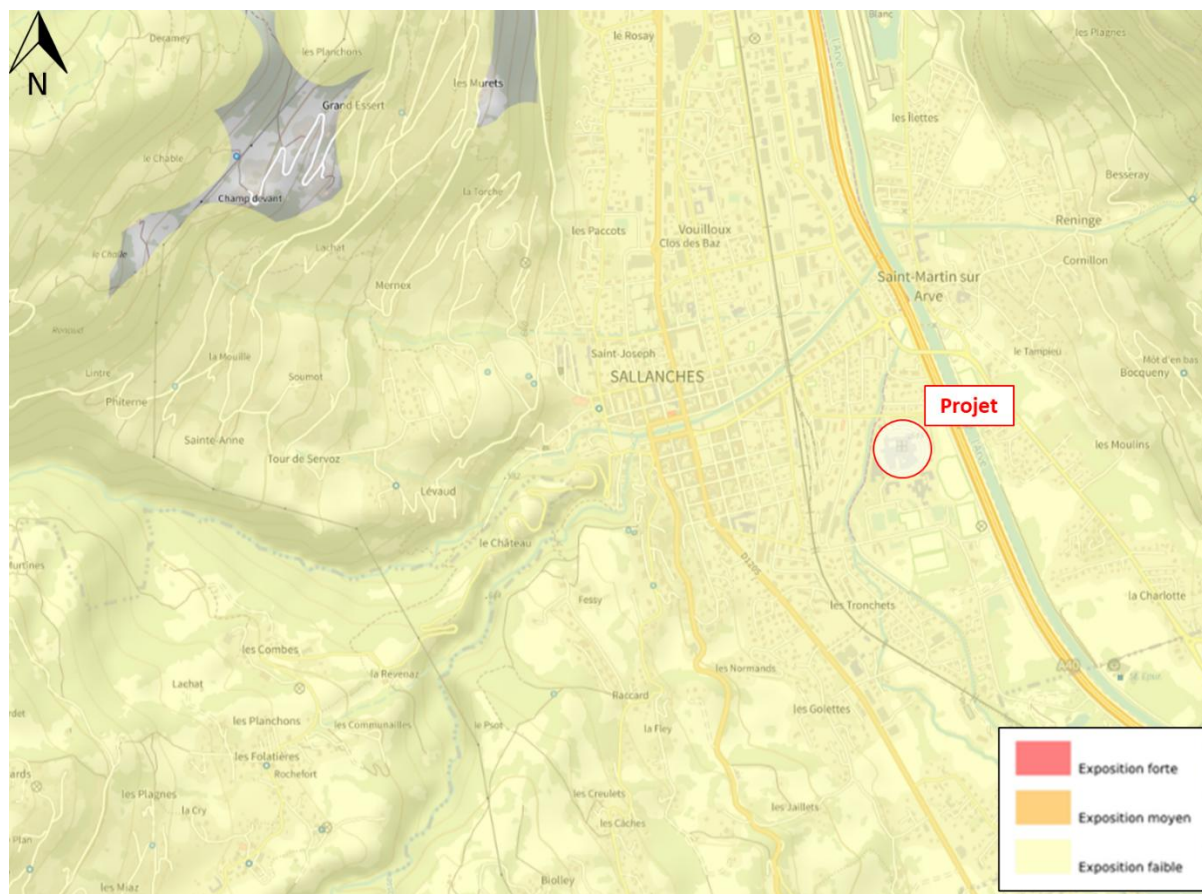


Figure 14 : Localisation du projet vis-à-vis des zones d'exposition au retrait et gonflement des argiles (Source : Géorisques)

## 7.5. Zones naturelles

### 7.5.1. Zones Natura 2000

Le projet se situe hors Zone Natura 2000. La zone Natura 2000 la plus proche se trouve à 3,5 km au nord-ouest du projet. Elle correspond à la zone FR8201701 : « Les Aravis ».

Aucune incompatibilité est à noter ici.



### 7.5.2. ZNIEFF (Type I et II)

**Les ZNIEFF de type I** correspondent à des espaces homogènes écologiquement, définis par la présence d'espèces, d'associations d'espèces ou d'habitats rares, remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel régional. Ce sont les zones les plus remarquables du territoire.

**Les ZNIEFF de type II** représentent quant à elles, des espaces qui intègrent des ensembles naturels fonctionnels et paysagers, possédant une cohésion élevée et plus riches que les milieux alentours.

D'après les informations présentes sur Géoportail, le projet n'appartient à aucune ZNIEFF.

La ZNIEFF de type I la plus proche du projet est la ZNIEFF : **820031662 – « Tête du Coloney - Désert de Platé »**, elle se trouve à 2,3 km à l'Est du projet. La ZNIEFF de type II la plus proche du projet est la ZNIEFF : **820031533 – « Ensemble fonctionnel de la rivière Arve et de ses annexes »**, se trouve au droit du projet.



Figure 15 : Localisation des ZNIEFF les plus proches du projet (Source : Géoportail.fr)



La délimitation en ZNIEFF relève d'une démarche d'inventaire des richesses naturelles et contribue à l'amélioration de la connaissance des milieux naturels, sans pour autant constituer une contrainte juridique, pouvant limiter le développement de projets.

**Ainsi, la présence d'une ZNIEFF ne constitue pas une contrainte réglementaire de nature à remettre en cause un projet de géothermie sur le secteur d'étude.**

La parcelle concernée par le projet est en zone urbanisée et construite. Les travaux de forages géothermiques n'engendreront donc pas d'impacts sur la ZNIEFF délimitée dans cette zone.

## 7.6. Sites potentiellement pollués

Après consultation des bases de données BASOL (sites pollués ou potentiellement pollués, appelant à une action des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif), le site n'est pas concerné par un site BASOL.

Le site du projet n'est pas concerné par un site BASIAS. Des sites BASIAS sont répertoriés sur la commune de Sallanches, cependant ces derniers se trouvent à plus de 100 m du site du projet.

Aucune incompatibilité entre ces sites et le projet de géothermie n'est identifiée.

## 7.7. Conclusion sur les contraintes réglementaires

D'un point de vue contexte réglementaire, les zonages existants à proximité du site ne sont pas de nature à contraindre le projet de géothermie (nappe ou sonde).





## 8. Estimation du potentiel géothermique au droit du projet

### 8.1. Rappel des besoins estimés pour le projet

A ce jour, les besoins énergétiques estimés dans le cadre du projet sont de l'ordre de **1,6 MW ENR + 3 MW appoint secours Gaz**. Les besoins sont répartis comme suit :

#### Chauffage

- DJU référence : 2725 (station de Sallanches)
- Quantité annuelle : 4 950 MWh/an
- Régime de température : 80/85°C

#### Froid

- Puissance : 1300 kW

La pré-étude d'une solution géothermie menée par MANERGY a abouti à une estimation de dimensionnement de PAC de **1600 kW**.

Toutefois, et pour des raisons de planning, de mise en œuvre et de compatibilité au régime de température, le Maître d'Ouvrage souhaite rester en GMI (géothermie de minime importance). Sur cette base, **la puissance maximale d'extraction et de réinjection à la nappe ne pourra excéder 500 kW, soit un débit maximum de 80 m³/h.**

### 8.2. Géologie attendue au droit du projet

Compte tenu des données disponibles, la coupe prévisionnelle attendue serait la suivante

- 0 – 2,5 m : Remblais ;
- 2,5 -15/20 m (30 m localement): terrains de remplissage alluvial majoritairement perméable (alternance de graviers, sable majoritaire avec niveaux d'argiles/limons) ;
- 15/20 – 55 m : terrains de remplissage glaciaires ou fluvio-glaciaires, plus ou moins argilo-sableux et localement graveleux (alternance de graviers, sable et argile) ;
- 55 – 150 m : Schistes (Terres Noires / Schistes à nodules).

**Cette coupe est donnée à titre indicatif car nous ne disposons pas de données précises sur la zone. Seule une reconnaissance in-situ permettrait de valider cette coupe et en particulier le caractère perméable et l'épaisseurs attendus sur la frange superficielle.**



## 8.3. Potentiel géothermique sur nappe

### 8.3.1. Potentiel géothermique de la nappe

Sur la base des données présentées précédemment, **le potentiel géothermique de la nappe existe sur le secteur**. La ressource en eau souterraine a priori productive est contenue dans les horizons superficiels des alluvions de l'Arve qui sont identifiées sur une épaisseur d'au moins une douzaine de mètres vers le projet. Localement, cette épaisseur pourrait être plus importante, mais ne devrait pas excéder plus de 20 m.

D'après les données recueillies sur le Centre Nautique et le forage de Cayenne situés au Sud du projet, la productivité moyenne des alluvions semble en première approche compatible avec une exploitation géothermique. Toutefois, il est à noter que ces ouvrages sont localisés plus au Sud de l'ombilic de remplissage qui reste plus favorable à la présence d'alluvions grossières. Vers le projet, les alluvions grossières et superficielles pourraient être moins épaisses et à tendance plus argileuses, ce qui pourrait réduire le débit maximal exploitable. Les estimations suivantes ont été réalisées en considérant l'hypothèse d'une productivité similaire à celle observée sur le forage AEP de Cayenne (sécuritaire).

Tableau 8 : Débits prélevables selon la hauteur d'alluvions rencontrées

Transmissivité	Hauteur d'alluvions productives captées	Débit soutirable théorique	Puissance d'extraction théorique potentielle (kW)
$1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	5 m (Forage de 10 m)	100 à 200 m <sup>3</sup> /h	580 à 1100 kW
$1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	10 m (Forage de 15 m)	200 à 300 m <sup>3</sup> /h	1100 à 1750 kW
$1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	15 m (Forage de 20 m)	300 à 400 m <sup>3</sup> /h	1750 à 2300 kW

Sur cette base, la productivité intrinsèque de la nappe sur la zone pourrait permettre de prélever théoriquement entre 100 et à 400 m<sup>3</sup>/h. Les puissances soutirables pour la géothermie pourraient donc en théorie être importantes (2300 kW).

**Néanmoins, les estimations de débit prélevable théorique et les puissances thermiques potentielles, restent fortement conditionnées par la hauteur d'alluvions réellement rencontrées mais également de la perméabilité intrinsèque locale** qui doit être quantifiée in-situ.

Par ailleurs, en considérant un niveau piézométrique proche du terrain naturel, les capacités d'absorption au droit du projet pourraient potentiellement être réduites et/ou conditionner l'installation et le nombre d'ouvrages en fonction du débit choisi.

Compte tenu des importants besoins pressentis, **la mise en œuvre de travaux de reconnaissance hydrogéologique sera fortement recommandée pour s'assurer de**



**l'absence d'aléa particulier (dominante argileuse des alluvions, épaisseur du réservoir productif moindre) et consolider ces premières approches.**

### 8.3.2. Principe de l'implantation du doublet géothermique

L'implantation d'un doublet géothermique se fait comme suit : le(s) ouvrage(s) de captage est positionné en amont hydraulique et le(s) ouvrage(s) de réinjection est placé en aval hydraulique.

Les ouvrages constituant le doublet géothermique doivent être suffisamment espacés afin de limiter le recyclage thermique entre les zones de captage et rejet. La distance entre les forages d'un doublet, ou d'ouvrage du même type est définie en fonction du débit d'exploitation et des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe.

L'implantation dépend aussi des installations géothermiques voisines, de leur positionnement par rapport aux projets et de leur mode de fonctionnement. L'objectif est de limiter les interactions hydrodynamiques et thermiques sur les installations voisines. Dans le cas du projet, il y a lieu de rappeler la présence d'un forage de réinjection géothermique à environ 475 m au Sud-Est du projet (Centre Nautique). Le puits AEP de Cayenne est situé à environ 380 m au Sud-Ouest du projet.

Pour limiter les interactions avec le forage AEP, les ouvrages de l'Hôpital devront être réalisés dans la mesure du possible à l'Est de la parcelle (au plus près de l'Arve).

En considérant les contraintes édictées ci-dessus, les zones pressenties pour le captage et la réinjection sont illustrées ci-dessous.

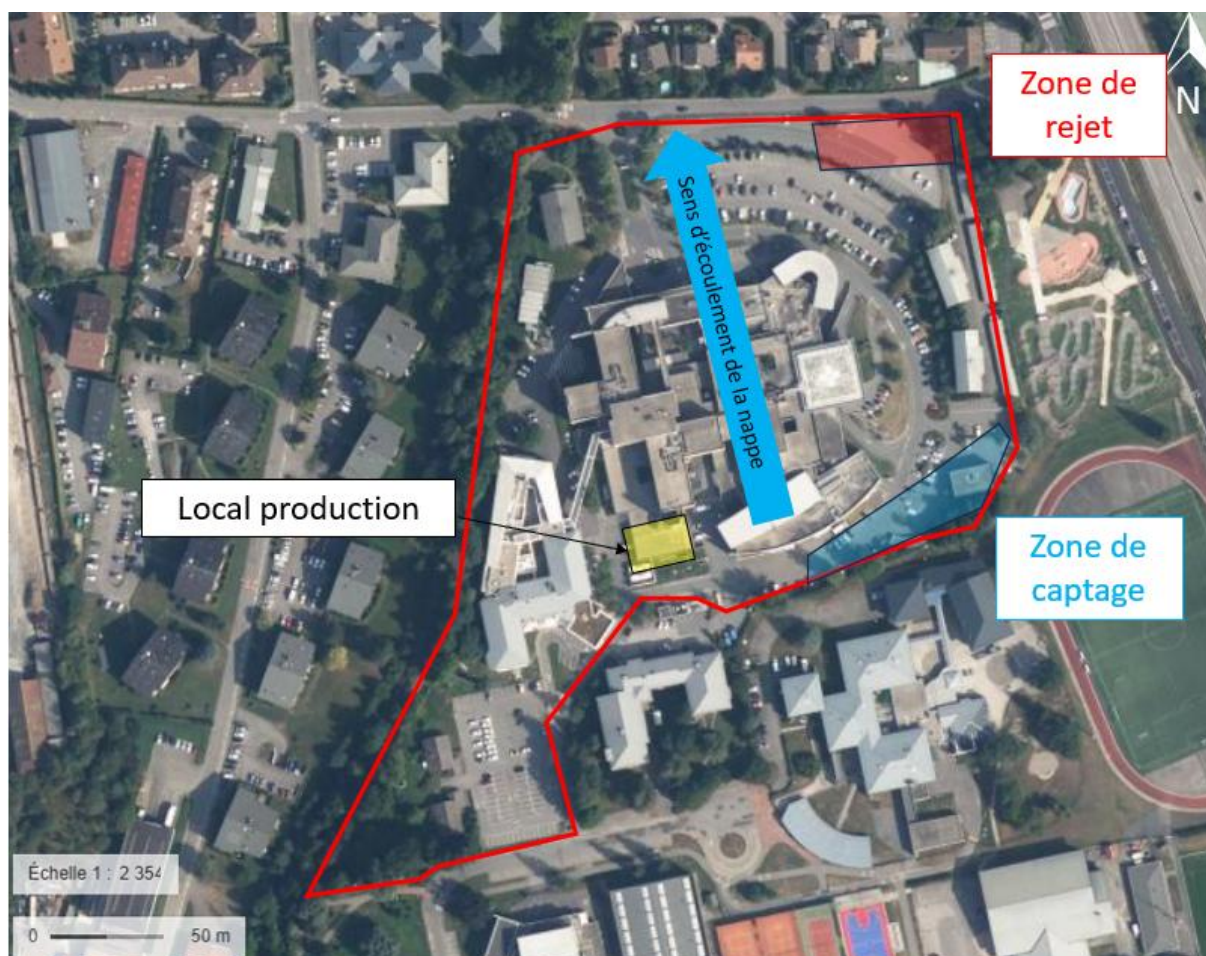


Figure 16 : Implantation envisagée pour des zones de captage-rejet

Dans cette configuration, les ouvrages de captage et de rejet seraient distants d'environ 150 m.

### 8.3.3. Recyclage thermique

Sur la base des implantations pressenties, les risques de recyclage thermique (captage d'une partie des calories rejetées sur l'ouvrage de réinjection) ont été estimés en première approche. **Le taux de recyclage thermique maximum généralement admissible est de 20 %** (incidence de  $+1^{\circ}\text{C}$  sur la température captée avec un Delta  $T^{\circ}$  de  $+5^{\circ}\text{C}$ ). Ce seuil constitue la limite de faisabilité, car au-delà le rendement de l'installation n'est pas jugé suffisant. Si cela est possible, et pour assurer un rendement optimal, un recyclage thermique nul doit être recherché.

Pour estimer ce risque, des calculs de recyclage thermique ont été réalisés en prenant en compte les hypothèses suivantes :

- Ecart thermique :  $+5^{\circ}\text{C}$  ;
- Gradient probable de la nappe :  $1\text{‰}$  (nappe alluviale) ;
- Sens général d'écoulement de la nappe : Sud-Nord ;



- Transmissivité :
  - T1 (hypothèse basse):  $1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
  - T2 (hypothèse haute)  $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
- Distance entre les zones de captage et de rejet : 150 m ;

Les recyclages sont présentés pour différents débits :

- Débit maximum théorique prélevable ;
- Débit maximum GMI ;
- Débit avec recyclage thermique admissible 20%.

Tableau 9 : Estimation des risques de recyclage thermique du projet (données bibliographiques)

Hypothèse productivité	Débit maximum considéré 24h/24	Résultats
		R : Taux de recyclage (impact t° captage) Tp : Temps de percée
$1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	200 m³/h P estimé : 1,16 MW	R : 64,3% (-/+3,2°C)
		Tp : 39 jours
	80 m³/h (seuil GMI) P estimé : 500 kW	R : 52,7% (-/+2,6°C)
		Tp : 78 jours
	25 m³/h P estimé : 116 kW	R : 20% (+/-1°C)
		Tp : 386 jours
$5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	300 m³/h P estimé : 1750 kW	R : 53,7% (-/+2,7°C)
		Tp : 20 jours
	80 m³/h P estimés : 465 kW	R : 16,2 % (+/-0,8°C)
		Tp : 130 jours
	69 m³/h P estimé : 400 kW	R : 10% (+/-0,5°C)
		Tp : 170 jours

En considérant ces premières approches et des hypothèses considérées, **les risques de recyclage thermiques apparaissent très importants.**

Dans le cas d'une productivité correspondant à celle observée sur le forage de Cayenne (hypothèse de productivité basse), le débit maximal d'exploitation admissible serait limité à 25 m³/h avec un recyclage résiduel (20%). En considérant une productivité analogue à celle observée sur les ouvrages du Centre Nautique (hypothèse de productivité haute), un débit maximal de 80 m³/h pourrait être envisagé avec un taux de recyclage résiduel équivalent de 16%.

En définitive, et bien que le potentiel quantitatif de la ressource soit important, **les risques de recyclages thermiques estimés à ce stade serait un facteur limitant sur les débits d'exploitation envisageables et donc les puissances extractibles sur le site.**

Sur la base des hypothèses actuelles, **une exploitation géothermique au-delà du seuil de la GMI ne semble pas envisageable sur le projet** car les risques de recyclages seront largement supérieurs et pénalisants pour le rendement de l'installation. Par ailleurs, en cas de





productivité limitée, le débit d'exploitation envisageable serait très réduit (25 m<sup>3</sup>/h) ce qui pourrait réduire l'intérêt de la solution sur nappe.

Il est important de rappeler que ces approches sont théoriques restent fortement dépendantes **par la productivité de la nappe in-situ et les caractéristiques hydrodynamiques locales** qui peuvent difficilement être extrapolées en l'état (sens d'écoulement, gradient). **Des travaux de reconnaissance (forage et piézomètres) permettraient de consolider les hypothèses retenues et potentiellement de modifier les possibilités d'exploitation.**

Si les résultats devaient mettre en évidence une productivité encore plus faible, les risques de devoir encore diminuer les débits exploités sur la nappe existent et la pertinence de la solution énergétique pourrait être aux mieux adaptée (moins de taux de couverture), et dans le cas le plus défavorable abandonnée.

#### 8.3.4. Dispositifs envisageables

Compte tenu des résultats évoqués ci-dessus, et au vu du contexte géologique et hydrogéologique attendu, les **dispositifs d'exploitation géothermiques envisageables ont été considérés pour exploiter un débit de 80 m<sup>3</sup>/h maximum** correspondant au seuil de la GMI. La nature des dispositifs proposés tient compte des nécessités ou non d'assurer une redondance et un secours direct.

- **Solution 1 (sans redondance directe)** : Un doublet de forage (petit diamètre) constitué d'un forage de captage et d'un forage de rejet (273 mm) de 15 à 20 m chacun ;
- **Solution 2 (avec redondance directe)** : Deux doublets de forage (petit diamètre) constitués de deux ouvrages de captage et deux ouvrages de rejet (273 mm) de 15 à 20 m chacun ;
- **Solution 3 (redondance directe)** : Un unique doublet de forage (gros diamètre) constitué d'un unique forage de captage (600 mm) et d'un unique forage de rejet (600 mm) de 15 à 20 m/TN.

**Le diamètre des ouvrages à réaliser reste conditionné par la nécessité de mettre en œuvre deux pompes dans l'ouvrage (redondance). La réalisation de forages de gros diamètre permet également d'optimiser les débits exploitables si l'épaisseur de la nappe est réduite et/ou que la productivité est moins importante qu'attendue.**

**Dans le cas de forages de petit diamètre, au vu du contexte le débit exploitable par ouvrage sera estimé à 80 m<sup>3</sup>/h (maximum GMI).**

En fonction des besoins qui pourront être affinés par la suite et des capacités intrinsèques de la nappe mis en évidence, des voies d'optimisation restent envisageables. La synthèse des dispositifs envisageables est fourni ci-dessous.



Tableau 10 : Synthèse des dispositifs envisageables

Solution envisageable	Ouvrages	Avantages	Inconvénients
<b>Solution 1 : Un unique doublet de forage 273 mm de 15 à 20 m/TN</b>	- 1 forage de captage - 1 forage de rejet	- Coût moindre	- Une seule pompe possible par ouvrage (pas de redondance directe) - Débit maximum de 80 m³/h/ouvrage - Plus sensible aux variations de niveaux - Capacités d'injection limitées
<b>Solution 2 : Deux doublets de forage 273 mm de 15 à 20 m/TN</b>	- 2 forages de captage - 2 forages de rejet	- Redondance directe Par doublement des ouvrages (fonctionnement en simultané des pompes) Réinjection répartie sur deux ouvrages	- Débit maximum de 80 m³/h/ouvrage - raccords doublés - Plus d'entretien - Plus sensible aux variations de niveaux - 4 ouvrages à implanter
<b>Solution 3 : Un doublet de forage 600 mm de 15 à 20 m/TN</b>	- 1 forage de captage - 1 forage de rejet	- Un unique doublet - Plus de surface d'échange - Moins sensibles aux variations de niveaux - Mise en place de deux pompes dans l'ouvrage	- Coût important

**NOTA :** Il est important de rappeler que le niveau piézométrique proche du terrain naturel (entre 1,5 et 2,5 m/TN) pourrait limiter les capacités d'absorption des terrains. La mise en place de deux ouvrages de rejet, en fonction continu d'exploitation, ne doit pas être écartée à ce stade de l'étude quelle que soit la solution technique retenue.

### 8.3.5. Programme de reconnaissance à envisager

Comme indiqué précédemment, il sera fortement recommandé de réaliser des travaux de reconnaissance préalables pour :

- Confirmer la productivité locale et le débit exploitable par ouvrage
- Valider les capacités d'injection
- Vérifier les phénomènes de recyclage thermiques
- Consolider le dimensionnement final du système de forage géothermique

Ce forage de reconnaissance sera réalisé selon la méthode destructive du marteau fond de trou (ODEX). En première approche, **cet ouvrage sera dimensionné pour être réutilisable dans un dispositif d'exploitation définitif**. Il sera donc préférentiellement foré en diamètre minimum de 373 mm et équipé de tubes Inox de diamètre 273 mm. Sa profondeur atteindra au-moins 15 à 20 m/TN afin de recouper la totalité de la zone productive et valider ou non la possibilité de rencontrer des alluvions productives au-delà de 15 m.

Ces travaux devront idéalement être complétés par la **mise en œuvre de 2 à 3 piézomètres de contrôle pour définir le sens d'écoulement précis et le gradient de la nappe localement.**



A l'issue de l'équipement du forage, un **essai de pompage de 24 heures avec suivi dans les piézomètres** sera réalisé afin de valider la productivité de la nappe, les rabattements observés et sa réalimentation. Cet essai sera réalisé jusqu'à un débit de 80/100 m<sup>3</sup>/h.

Un **essai d'injection (12 heures) devra impérativement être réalisé pour vérifier les capacités d'absorption des terrains**. Cet essai devra être réalisé depuis un point d'eau capable de fournir le débit maximum pressenti (ex : borne à incendie).

L'interprétation des données (mesures) permettra de déterminer les valeurs de transmissivité (T) et de perméabilité (K) de l'aquifère sur la zone. A l'issue du pompage, un prélèvement d'eau pourrait éventuellement être effectué pour réaliser **une analyse physico-chimique complète de type C3**. Une tête de protection provisoire sera réalisée.

Ces travaux sont soumis à déclaration au titre du Code de l'Environnement et devront faire l'objet d'un dossier réglementaire spécifique préalable (rubrique 1.1.1.0).

Les travaux de foration seront suivis par un hydrogéologue, qui devra en particulier contrôler que les conditions géologiques et hydrogéologiques rencontrées sont favorables à l'exploitation et proposer le cas échéant, les adaptations nécessaires, en particulier la poursuite ou l'arrêt de la foration. A l'issue des investigations, la ressource en eau souterraine sera quantifiée et permettra de valider son exploitation. Le dimensionnement et la constitution du dispositif d'exploitation de la nappe pressenti seront alors confirmés ou adaptés.

La coupe prévisionnelle de cet ouvrage est illustrée ci-dessous

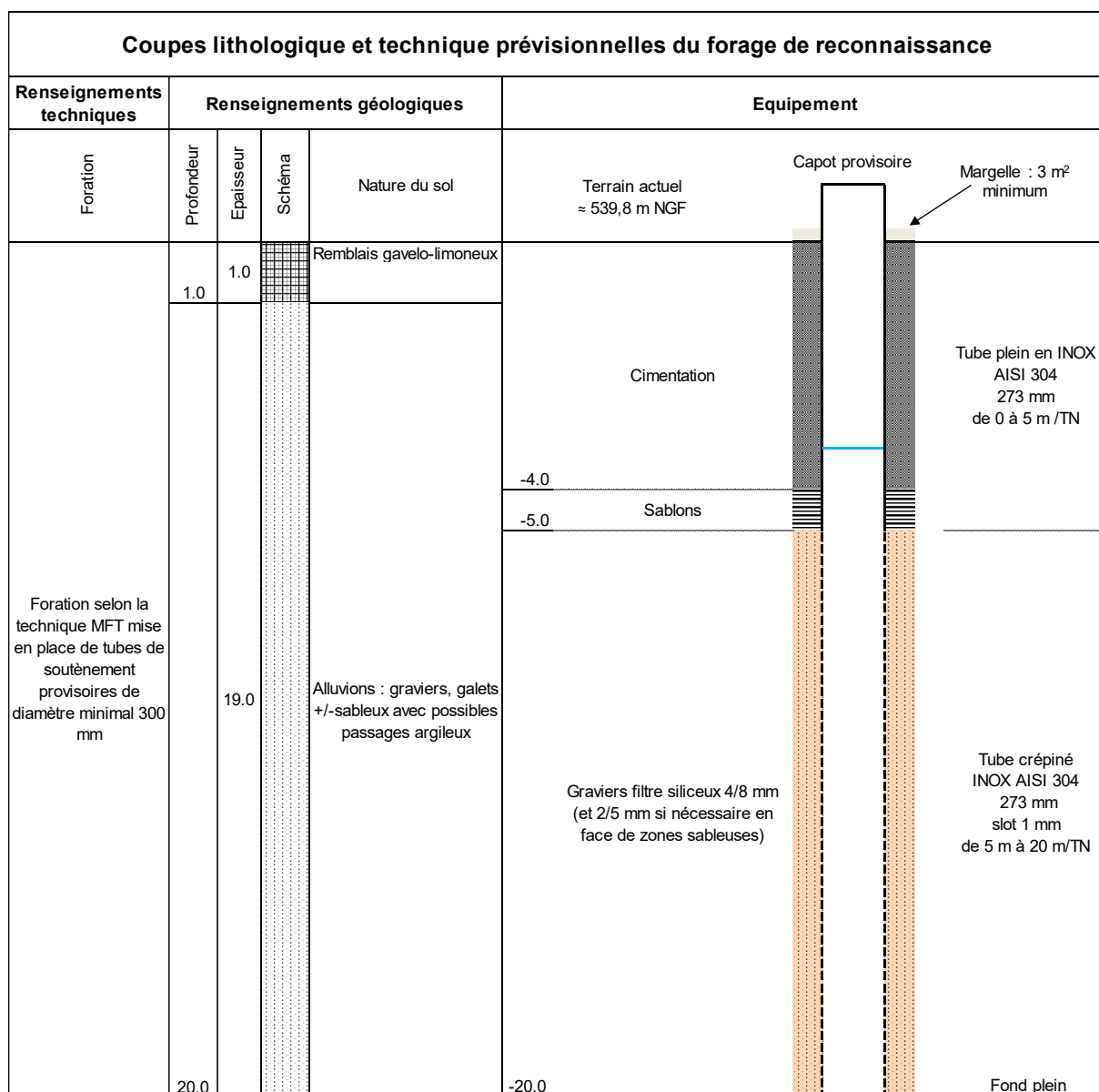


Figure 17 : Coupe prévisionnelle du forage de reconnaissance proposé

### 8.3.6. Incidences hydrodynamiques et thermiques attendues

Le fonctionnement de plusieurs ouvrages à proximité du site engendrera localement de possibles interactions entre le projet et les ouvrages existants suivants :

- Forages de Cayenne à 350 m au Sud-Ouest ;
- Forages du centre Nautique à 500 m au Sud-Est.

L'incidence hydrodynamique du projet, si elle est validée, a été appréciée en première approche sur la base d'un débit maximal de 80 m³/h. Les incidences hydrodynamiques spécifiques théoriques ont été appréciées et sont rappelées ci-dessous :



Rabattements théoriques d'un prélèvement de 80m <sup>3</sup> /h					
Durée de pompage	Débit		Rabatement calculé à une distance donnée du forage (en m)		
			50 m	350 m (CAYENNE)	500 m (C. NAUTIQUE)
24h/24h pendant 1 an	Hypothèse basse $T=1,4 \cdot 10^{-2}$ m <sup>2</sup> /s	80m <sup>3</sup> /h	1,05 m	0,55 m	0,38 m
24h/24h pendant 1 an	Hypothèse haute $T=5 \cdot 10^{-2}$ m <sup>2</sup> /s	80m <sup>3</sup> /h	0,34 m	0,2 m	0,18 m

Ces résultats indiqueraient des abaissments théoriques de la nappe d'une cinquantaine de centimètres sur l'ouvrage de Cayenne dans l'hypothèse la plus défavorable et seulement d'une vingtaine si la productivité est située dans la fourchette haute. Les ouvrages du Centre Nautique seraient peu impactés (une dizaine à une vingtaine de centimètres). Ces incidences restent toutefois très sécuritaires car elles n'intègrent pas les capacités de réalimentation de la nappe.

Concernant les incidences thermiques, le projet reste situé à l'aval du forage de Cayenne. Le rejet projeté sera situé à plus de 500 m en aval. Les incidences thermiques resteront limitées voire négligeables. L'incidence thermique du rejet du Centre Nautique sur la zone de prélèvement projetée reste relativement éloignée du projet et ne devrait pas avoir d'impact significatif sur le prélèvement de l'Hôpital.

L'incidence hydrodynamique et thermique du projet devrait donc rester limitée et ne devrait pas impacter les deux ouvrages existants. Ce point pourra être précisé lors de travaux de reconnaissance (suivi d'un pompage continu) et idéalement par une modélisation hydrodynamique et thermique.

## 8.4. Géothermie sur champ de sondes : potentiel de la ressource

### 8.4.1. Généralités

La **géothermie sur champ de sondes présente l'avantage de ne pas être dépendante des propriétés hydrogéologiques de la nappe et de la qualité chimique des eaux**. Le fluide caloporteur circule en circuit fermé à l'intérieur des sondes en PEHD enterrées qui sont reliées directement à la pompe à chaleur.

En général, les sondes ont une profondeur comprise entre 100 et 200 m. En dépassant 200 m, le projet est soumis à autorisation au titre du Code Minier, ce qui alourdit la procédure mais est faisable techniquement. L'approfondissement des sondes permet de diminuer le nombre de sondes, soit d'accommoder un manque d'espace.

Au-delà de 150 m, la technologie de réalisation des sondes évolue et nécessite de réaliser des forages plus gros et de mettre des sondes de plus gros diamètre également engendrant des surcouts significatifs.





### 8.4.2. Application du projet

Compte tenu du contexte géologique présenté ci-avant, des puissances importantes, la profondeur unitaire des sondes considérées sera de 200 m. Selon les conditions réelles de forages qui seront rencontrées sur le projet, la profondeur des sondes pourra être adaptée afin d'optimiser le champ de sondes.

Du fait des incertitudes existantes sur la géologie profonde qui pourrait être rencontrée au droit du site d'étude et afin de caractériser précisément le potentiel géothermique du sous-sol, **la réalisation d'une sonde pilote associée à un test de réponse thermique (TRT) sera recommandée.**

De manière générale, une sonde test permet de confirmer la succession géologique jusqu'à la profondeur visée (tenue des terrains et difficultés de foration). A l'issue de la réalisation de cette sonde pilote, la profondeur des sondes peut ainsi être affinée voire modifiée selon la réalité géologique des terrains. Le TRT permettra de quantifier le potentiel géothermique des formations locales, donc d'optimiser le dimensionnement du champ de sondes final.

**Nota :** Les difficultés rencontrées lors de la réalisation d'une sonde pilote sont des indicateurs importants pour la réalisation du dispositif final.

Tel que présenté en partie 5.2 précédente, d'après les capacités thermiques attendues au droit du projet entre 0 et 150 m, la puissance extractible estimée à ce stade par mètre de sondes est de l'ordre de **48 à 52 W/m**. Nous appliquerons une valeur moyenne de 50 W/ml (pour manque de données bibliographiques) ces mêmes valeurs pour des sondes de **200 ml de profondeur**.

Un ratio moyen de **50 W/ml** de sondes sera considéré pour estimer le linéaire de forages à réaliser.

Tableau 11 : Linéaires estimatifs et seuils de puissances maximales théoriques

Puissance crête appelée sous-sol	Puissance crête bâtiment (COP 3)	Linéaire d'échange nécessaire	Unité de sondes de 200 ml
100 kW	150 kW	2000 m	10
200 kW	300 kW	4000 m	20
300 kW	450 kW	6000 m	30
400 kW	600 kW	8000 m	40
500 kW	750 kW	10 000 m	50
700 kW*	1050 kW	14 000 m	70
1050 kW*	1575 kW	21 000 m	105

\*Hors GMI : Conditions à janvier 2026 –

Nota : Le seuil de la GMI pourrait être relevé à 2MW dans les prochains mois.

Ces approches restent théoriques et sont fortement dépendantes des capacités de recharges du sous-sol et de la répartition appels de puissances (chaud et froid). Idéalement, les consommations de chauffage doivent être équivalentes aux consommations de froid pour avoir un système efficient tout en limitant l'appauvrissement thermique du sous-sol qui pourrait limiter les calories extractibles sur le long terme.



Ce point devra être affiné par un géo modèle en phase de faisabilité ainsi que par les **besoins et appels de puissance du projet qui devront être précisés par une simulation thermique et dynamique précise des besoins.**

#### 8.4.3. Contraintes constructives

Dans le cadre de la mise en œuvre de géothermie sur sondes verticales, il existe quelques préconisations d'espacement à respecter :

- Les sondes devront être distantes de 10 m entre-elles ;
- Les sondes devront être distantes de 5 m des arbres ;
- Les sondes devront être distantes de 3 m des réseaux hydrauliques ;
- Les sondes devront être distantes de 3 m des fondations ;
- Les sondes devront être distantes de 1,5 m des réseaux secs (électricité, télécom),
- Les sondes devront être distantes d'au moins 5 m des limites de propriétés,
- La profondeur de raccordement horizontale devra être d'au minimum 0,8 m/TN avec une pente ascendante des sondes vers le collecteur d'environ 1 %.

Au regard de la norme sur les sondes géothermiques verticales NF X 10-970, la distance entre les sondes doit être de 10 m. Si cette distance ne peut pas être respectée, il conviendra d'augmenter la profondeur initiale de chaque sonde de 5 % pour toute diminution de la distance entre les sondes de 50 cm, jusqu'à une distance minimale de 5 m. D'après la même norme, la distance entre les sondes et la limite de propriété doit être de 5 m.

En cas d'impossibilité, cette distance peut être réduite à 2,5 m à condition d'augmenter la profondeur initiale de chaque sonde de 5 % pour toute diminution de la distance avec la limite de propriété de 50 cm.

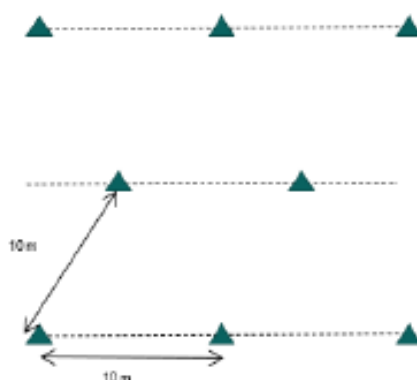


Figure 18 : Optimisation d'un champ de sondes

En respectant les distances inter-sondes de 10 m surfaces nécessaires pour l'implantation du champ de sondes seraient les suivants :



Tableau 12 : Surfaces au sol nécessaires suivant les puissances soutirées

Puissance crête appelée sous-sol	Puissance crête bâtiment (COP 3)	Linéaire d'échange nécessaire	Unité de sondes de 200 ml	Surface au sol nécessaire (m <sup>2</sup> )
100 kW	150 kW	2000 m	10	800
200 kW	300 kW	4000 m	20	1570
300 kW	450 kW	6000 m	30	2356
400 kW	600 kW	8000 m	40	3150
<b>500 kW</b>	750 kW	10 000 m	50	3900
<b>700 kW</b>	1050 kW	14 000 m	70	5500
<b>1050 kW</b>	1575 kW	21 000 m	105	8300

\*Hors GMI : Conditions à janvier 2026 –

Nota : Le seuil de la GMI pourrait être relevé à 2MW dans les prochains mois.

Compte tenu des importantes puissances appelées, il sera nécessaire de disposer d'une surface libre au sol d'au moins 4000 m<sup>2</sup> (seuil GMI actuel = 50 sondes). En cas de puissances supérieures, la surface nécessaire à l'implantation d'un futur champ de sonde pourrait nécessiter une emprise d'au moins 8300 m<sup>2</sup>.

Si des sondes doivent être réalisées elles devront préférentiellement être implantées sur des zones libres de toute construction (actuelles et futures) et présentant peu de réseaux sensibles.

Les zones de parking actuelles situées au Nord-Est du site et au Sud-Est seraient ainsi à privilégier et pourraient potentiellement permettre de disposer jusqu'à une centaine de sondes. Ces approches pourront être adaptées avec les plans de réseaux

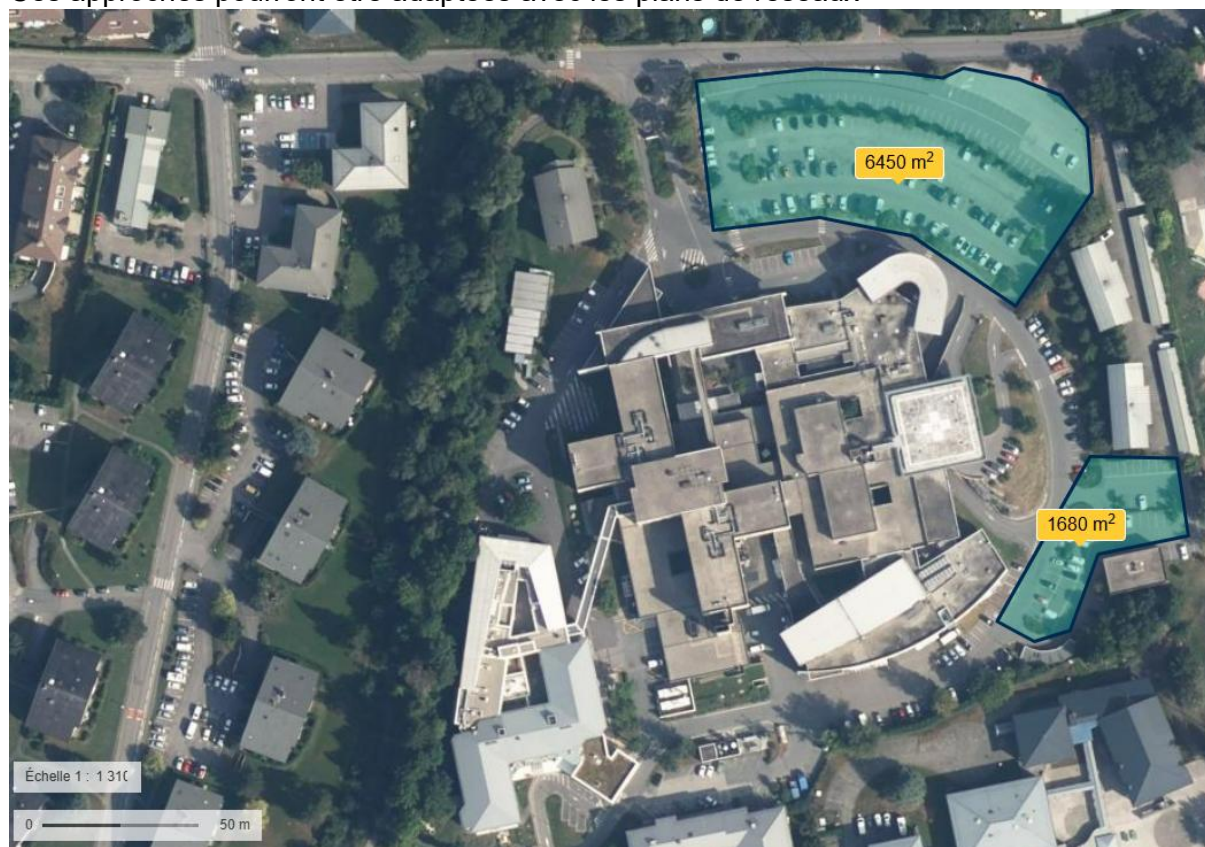


Figure 19 : Emprises disponibles pour les implantations de sondes géothermiques



#### 8.4.4. Investigations complémentaires

Pour optimiser le dimensionnement du champ de sondes, nous préconisons de réaliser :

- Une estimation des besoins et consommations thermiques du bâtiment par un BET Fluide (estimation de la puissance d'appel de chaque bâtiment en mode chaud et froid au pas de temps horaire sur une année complète) ;
- Une sonde pilote, afin de reconnaître la géologie locale
- Un test de réponse thermique (TRT) afin de définir la température initiale des terrains ainsi que les caractéristiques thermiques des sols ;
- Une étude de faisabilité afin d'optimiser le dimensionnement du champ de sondes (réalisation d'une géomodélisation du futur champ de sondes, suites aux acquisitions de données de terrain lors de la réalisation de la sonde pilote et du test de réponse thermique).

La sonde pilote est exigée par l'ADEME si le « Fond Chaleur » est sollicité pour subventionner en partie les installations (la sonde pilote et le TRT sont exigés par l'ADEME pour tout projet nécessitant plus de 1000 ml de sondes). Toutefois, la présence d'une sonde test réalisée sur l'école à proximité dans un contexte analogue au projet permet de disposer de valeurs de conductivité qui pourraient être extrapolées au site.

Dans le cas où une sonde pilote serait réalisée, elle serait implantée de manière à pouvoir être conservée et intégrée, par la suite du projet, au futur champ de sondes. Elle nécessite donc d'anticiper l'emplacement prévisionnel du champ de sondes et l'implantation définitive des sondes.



## 9. Estimation des coûts (Boucle primaire)

Les estimatifs pour la mise en œuvre d'une solution géothermique sur nappe et sur sondes (intégrant les travaux de reconnaissance) sont présentés ci-dessous

### 9.1. Budget estimatif géothermie sur nappe

#### 9.1.1. Solution 1 (un doublet captage-rejet - Diamètre 273 mm)

Type de forage	Profondeur	Equipement	Prix estimé
<b>Solution 1 : Un unique doublet 273 mm de 15 à 20 m (débit maximum 80 m³/h)</b>			
<b>Phase reconnaissance</b>			
Travaux de reconnaissance (Forage 273 mm)	15 à 20 m/TN	INOX 273 mm	40 à 45 k€
3 piézomètres de 10 m	10 m	PVC 50x60	6 à 8 k€
Suivi hydrogéologique travaux			7 à 10 k€
<b>Ouvrages d'exploitation définitifs</b>			
Forages définitif complémentaire (1 ouvrage)	15 à 20 m/TN	INOX 273 mm	40 à 45 k€
Suivi hydrogéologique par un BE + Assistance exécution			5 à 7 k€
Aménagements regards définitifs			10 k€
<b>Total Solution 1 ( Un doublet – Débit d'exploitation 80 m³/h)</b>			<b>109 à 123 k€ HT</b>

\*Les prix s'entendent HT.

Ces budgets sont à titre indicatifs et ne concernent que la réalisation des forages et de leur regard et le suivi hydrogéologique des travaux. Ils ne comprennent pas les équipements électromécaniques (pompes, moyens de suivis, PAC) ni les canalisations de raccordement.





## 9.1.2. Solution 2 (Deux doublets captage rejet – Diamètre 273 mm)

Type de forage	Profondeur	Equipement	Prix estimé
<b>Solution 2 : Deux doublets 273 mm de 15 à 20 m (débit maximum 80 m³/h)</b>			
<b>Phase reconnaissance</b>			
Travaux de reconnaissance (Forage 273 mm)	15 à 20 m/TN	INOX 273 mm	40 à 45 k€
3 piézomètres de 10 m	10 m	PVC 50x60	6 à 8 k€
Suivi hydrogéologique travaux			7 à 10 k€
<b>Ouvrages d'exploitation définitifs</b>			
Forages définitif complémentaire (3 ouvrages)	15 à 20 m/TN	INOX 273 mm	120 à 135 k€
Suivi hydrogéologique par un BE + Assistance exécution			10 à 12 k€
Aménagements regards définitifs			20 k€
<b>Total Solution 2 (Deux doublets – Débit d'exploitation 80 m³/h)</b>			<b>203 à 230 k€ HT</b>

## 9.1.1. Solution 3 (Un doublet captage rejet – Diamètre 600 mm)

Type de forage	Profondeur	Equipement	Prix estimé
<b>Solution 3 : Un doublet 600 mm de 15 à 20 m (débit maximum 80 m³/h)</b>			
<b>Phase reconnaissance</b>			
Travaux de reconnaissance (Forage 273 mm)	15 à 20 m/TN	INOX 273 mm	40 à 45 k€
3 piézomètres de 10 m	10 m	PVC 50x60	6 à 8 k€
Suivi hydrogéologique travaux			7 à 10 k€
<b>Ouvrages d'exploitation définitifs</b>			
Forages définitif complémentaire (2 ouvrages)	15 à 20 m/TN	INOX 600 mm	150 à 160 k€
Suivi hydrogéologique par un BE + Assistance exécution			10 à 12 k€
Aménagements regards définitifs			20 k€
<b>Total Solution 2 (Un doublet – Débit d'exploitation 80 m³/h)</b>			<b>233 à 255 k€ HT</b>

Nota : Dans cette solution, le forage de reconnaissance pourrait être conservé en tant qu'appoint ou secours.



## 9.2. Budget estimatif géothermie sur sondes

Tableau 13 : Synthèse budgets prévisionnels d'une solution géothermique sur 50 sondes (GMI)

Type de forage	Linéaire total forage	Nombre de sondes	Prix estimé
<b>Phase reconnaissance</b>			
Travaux de reconnaissance Sonde pilote et TRT	200 m	1	35 à 40 k€
<b>Suivi par BE 10 07</b>			5 k€
<b>Ouvrages d'exploitation définitifs (GMI)</b>			
Champ de sonde (hors sonde pilote réutilisée)	9800 m	49 sondes	1080 à 1180 k€
Suivi hydrogéologique par un BE + Assistance exécution			60 à 70 k€
<b>Total -Solution sondes (Seuil GMI)</b>			<b>1180 à 1295 k€ HT</b>

Tableau 14 : Synthèse budgets prévisionnels d'une solution géothermique sur 105 sondes (hors GMI)

Type de forage	Linéaire total forage	Nombre de sondes	Prix estimé
<b>Phase reconnaissance</b>			
Travaux de reconnaissance Sonde pilote et TRT	200 m	1	35 à 40 k€
<b>Suivi par BE 10 07</b>			5 k€
<b>Ouvrages d'exploitation définitifs (Maximaliste)</b>			
Champ de sonde (hors sonde pilote réutilisée)	20 800 m	104 sondes	2300 à 2500 k€
Suivi hydrogéologique par un BE + Assistance exécution			85 à 95 k€
<b>Total -Solution sondes (Hors GMI)</b>			<b>2425 à 2640 k€ HT</b>

Les budgets prévisionnels intègrent les raccordements horizontaux, le collecteur, mais n'intègrent pas la PAC et les installations de la boucle secondaire.



### 9.2.1. Possibilités de financement

#### 9.2.1.1. Financement de l'étude de faisabilité

L'étude de faisabilité et les investigations complémentaires peuvent être subventionnées à hauteur de 70 %. Cette étude doit être réalisée par un BET certifié OPQIBI 1007 (GEOTHER étant qualifié). La demande de financement est adressée directement à l'ADEME avant le lancement de l'étude de faisabilité.

#### 9.2.1.2. Financement des investissements sur les sondes

La géothermie peut être subventionnée par le dispositif d'aide du Fond Chaleur, développé par l'ADEME. Pour percevoir cette aide financière, le projet doit respecter les conditions d'éligibilité suivantes :

- Production minimum de l'installation **25 MWh EnR/an**, (les MWh EnR correspondent aux MWh, réellement **extraits du sous-sol côté sondes/nappe**, utiles pour les besoins exclusifs de chauffage et d'eau chaude sanitaire des bâtiments ; les MWh EnR sont comptabilisés à l'entrée de la pompe à chaleur) ;
- Nombre d'heures équivalentes de fonctionnement à puissance nominale de la PAC **supérieur à 1000 h/an (recommandation)** ;
- Respect de la réglementation sous-sol, en particulier les obligations réglementaires liées aux opérations de géothermie de minime importance, encadrées par le décret de minime importance 5 (publié le 8 janvier 2015 et entré en vigueur le 1er juillet 2015). Le décret précise les règles relatives aux droits et obligations des exploitants notamment en cas de dommages ainsi que celles relatives à l'arrêt d'exploitation. Il prévoit notamment que les travaux devront être réalisés par des entreprises prestataires de forage disposant des qualifications requises (NB : la qualification « **CertiForage** » répond notamment à cette exigence) ;
- Respect des normes NFX 10-960-1, 10-960-2, 10-960-3, 10-960-4, NFX 10-970 relatives à la mise en place des sondes géothermiques verticales ;
- Pour les opérations dont la longueur cumulée des sondes est supérieure à 1000 mètres : réalisation obligatoire d'une sonde géothermique verticale test, d'un test de mesure in situ des propriétés thermiques du terrain (TRT) et d'une modélisation dynamique (sous-sol et surface) afin d'optimiser le dimensionnement des installations sous-sol ;
- Pour les PAC destinées au chauffage ou au chauffage et à la production d'ECS :
  - **COP machine égal ou supérieur à 4,5 (nappe) ou 4 (sondes) pour les PAC « électriques » en mode chaud** (mesuré dans les conditions d'essais de la norme européenne EN 14511-2) ;
  - **SCOP global minimum de 3 dans les conditions d'application du projet** : le COP global inclut la consommation électrique du compresseur de la PAC et des auxiliaires de l'installation telles que les pompes de circulation côté circuit primaire (cf. §5 monitoring des installations). Afin d'optimiser le rendement énergétique de l'installation, il est recommandé d'étudier l'asservissement des auxiliaires à la PAC et de paramétrer la PAC pour adapter sa température de production en fonction des besoins des émetteurs et de la température extérieure.
- Pour les PAC destinées à la production de froid :
  - **EER machine égal ou supérieur à 3,6 pour les PAC électriques** (mesure dans les conditions d'essais de la norme européenne EN 14511-2 en régimes de températures 12/7°C à l'évaporateur et 30/35°C au condenseur)



- **SEER global annuel estime minimum de 3,3** dans les conditions d'application du projet : le SEER global annuel inclut la consommation électrique du compresseur de la PAC et des auxiliaires de l'installation telles que les pompes de circulation cote circuit primaire

### Recommandations supplémentaires

Pour les opérations de PAC sur nappe et PAC sur champ de sondes, l'ADEME recommande que les travaux soient accompagnés par un (ou des) bureau(x) d'études ayant des compétences sur l'évaluation des "ressources géothermiques sous-sol" ET "sur les installations de surface". Cette recommandation peut être assouplie selon les régions et à l'appréciation des instructeurs ADEME en particulier pour les "petites" opérations de PAC sur sondes dont la longueur totale de sondes est inférieure à 1000 mètres linéaires (dans ces cas, il n'y a pas d'exigence de réalisation de test de réponse thermique de terrain, ni de géomodélisation – cf. § critères d'éligibilité spécifiques aux PAC sur sondes).

Afin d'améliorer la qualité des installations de géothermie intermédiaire, l'ADEME conseille aux maîtres d'ouvrages ne disposant pas de compétences techniques internes de recourir à une prestation d'assistance à maîtrise d'ouvrage, afin de se faire assister dans le suivi de la conception et de l'exécution de leurs installations.

De plus, pour un meilleur fonctionnement et une optimisation des performances des installations, l'ADEME recommande aux maîtres d'ouvrage et/ou à leur représentant (exploitants) de prévoir une mission de commissionnement des installations à l'issue des travaux.

Ces derniers devront aussi s'assurer auprès des acteurs intervenant sur l'opération (maîtrise d'œuvre, foreurs, installateurs PAC) qu'ils ont tous les documents et informations nécessaires à une bonne prise en main et suivi des installations (affichage d'un schéma de principe ou synoptique de l'installation globale dans le local chaufferie avec un repérage précis des différents équipements : sondes de température, capteurs et compteurs (électrique, chaleur, débit), fiches techniques des équipements (pompe à chaleur, pompes, ballon), mise en place d'un livret de chaufferie).

Selon la taille des installations, l'aide « Fonds Chaleur » sera calculée sur la base d'une aide forfaitaire ou d'une analyse du coût de revient à partir de la production d'énergie renouvelable de

Pour des installations de PAC produisant du chaud, via un champ de sondes, l'aide du « Fond Chaleur » (2025) est de : **1000 €/MWh EnR/an** (sur 20 ans), pour une production supérieure à 25 MWh EnR/an et inférieure à 500 MWh EnR/an.

Pour des installations de PAC produisant du chaud, via un doublet géothermique sur nappe, l'aide du « Fond Chaleur » (2025) est de : **500 €/MWh EnR/an** (sur 20 ans), pour une production supérieure à 25 MWh EnR/an et inférieure à 500 MWh EnR/an.

Pour des installations de PAC produisant du géocooling l'aide du « Fond Chaleur » (2025) est de : **400 €/MWh EnR/an** (sur 20 ans), pour une production supérieure à 25 MWh EnR/an et





inférieure à 500 MWh EnR/an. Le froid passif est subventionné à hauteur de la production réinjectée. En froid actif, la production finale résulte de la déduction de l'énergie dissipée par la PAC. Elle est généralement moindre que pour le froid passif.



## 10. Conclusion

Dans le cadre du projet de création d'un pôle énergie alimentant les bâtiments du centre hospitalier de Sallanches (74), les HOPITAUX DU PAYS DU MONT BLANC, Maître d'Ouvrage du projet, souhaitent étudier les possibilités d'exploitation géothermique pour couvrir les besoins de chauffage et de rafraîchissement des locaux.

GEOTHER a été consulté par les HOPITAUX DU PAYS DU MONT BLANC pour la réalisation d'une étude de faisabilité de géothermie (nappe ou sondes). L'étude de pré faisabilité géothermique est réalisée dans le but de connaître le potentiel de géothermie pour subvenir aux besoins en chauffage et en froid du projet.

Géologiquement, le projet se situe au sein de la vallée de l'Arve. Vers le projet, **le remplissage quaternaire est aquifère sur sa partie sommitale (15 à 20 premiers mètres)**. La ressource en eau est exploitée localement par le forage AEP de Cayenne (380 m au Sud du site) et le doublet géothermique du centre nautique de Sallanches (500 m au Sud-Est). Les données recueillies font état d'une **productivité intrinsèque importante (50 à 400 m<sup>3</sup>/h/m) a priori compatible avec une exploitation géothermique**. Cependant, le contexte géologique analysé pourrait induire un remplissage superficiel moins important et moins productif sur le site.

Par ailleurs, la productivité réelle des terrains conditionnera les **risques de recyclage thermiques qui sont jugés importants, voire rédhibitoires** dans le cas d'une productivité similaire à celle observée sur le forage de Cayenne. Si ces risques sont avérés, ceci pourrait par conséquent limiter le potentiel d'exploitation géothermique en termes de puissance extractible. D'autre part, le niveau de la nappe est potentiellement très proche du sol (1,5 à 2,5 m/TN). Les conditions de réinjection restent donc complexes et incertaines (risques de débordement).

**Bien que le potentiel de la nappe soit jugé favorable, il sera nécessaire de consolider la productivité intrinsèque de la nappe, son sens d'écoulement et son gradient pour valider les capacités d'exploitation maximales sur le site.** Ces travaux de reconnaissance comprendront à minima :

- La réalisation d'un forage de 15 à 20 m en diamètre 273 mm ;
- La réalisation de 3 piézomètres de 10 m en 50x60 mm ;
- La réalisation d'un pompage d'essai de 24 heures et d'un essai d'injection, avec suivi dynamique des niveaux piézométriques sur l'ensemble des ouvrages.

En première approche, et sur la base des éléments disponibles, il semble qu'une **exploitation géothermique au-delà de 80 m<sup>3</sup>/h ne serait pas envisageable**. Il sera donc recommandé de conserver une exploitation dans le régime de la GMI. Si les travaux de reconnaissance sont concluants, trois types de dispositifs ont été prédéfinis sur la base d'hypothèses de productivité, d'une redondance totale pour assurer les besoins sans discontinuité en cas d'opérations de maintenance ou de désordre manifeste sur un forage.

- **Solution 1** : 1 doublet (captage + rejet) d'une profondeur de 15/20 m, crépiné sur 10/15 mètres. L'ouvrage de captage sera équipé d'une pompe capable de fournir un débit de 80 m<sup>3</sup>/h (débit maximum autorisé pour la GMI) ;
- **Solution 2** : 2 doublets (2 captages + 2 rejets) d'une profondeur de 15/20 m, crépinés sur 10/15 mètres.



- **Solution 3 ( $\leq 1600$  kW) :** 1 doublet de diamètre 600 mm d'une profondeur de 15 à 20 mètres, crépinée sur 10 ou 15 m minimum. Ces ouvrages permettent potentiellement d'assurer une redondance directe (plusieurs pompes).

Sur la base des données actuelles, les **budgets prévisionnels pour la mise en œuvre de forages géothermiques sur nappe seraient compris entre 109 à 255 k€ HT**. Ces budgets intégreraient, les ouvrages définitifs (forage, piézomètres et regards), les travaux de reconnaissance préalables et le suivi hydrogéologique.

Concernant la **solution de géothermie sur champ de sondes verticales**, cette dernière permet de s'affranchir de tout risque d'échec puisqu'elle ne repose pas sur la présence d'une ressource en eau pérenne et productive. Le prédimensionnement du champ de sondes a donc été effectué sur la base des capacités thermiques estimées (GMI) des terrains attendus jusqu'à 200 m/TN appréciées sur un TRT proche.

Compte tenu des emprises foncières disponibles (zones de parking au Nord et au Sud-Est), l'exploitation géothermique par sondes reste envisageable même pour des puissances importantes. Toutefois, ces puissances extractibles resteront très dépendantes des modes de fonctionnement envisagés et des capacités de recharge des terrains et des risques d'appauvrissements thermiques.

Sous réserve de pouvoir implanter un nombre de sonde suffisant et de l'appréciation des besoins thermiques par des études plus détaillées (STD) et des capacités thermiques in-situ (sonde pilote et TRT), les investissements sur la boucle primaire sondes seraient estimés entre **1180 à 1295 k€ HT** (seuil GMI) **et jusqu'à 2425 à 2640 k€ HT** (puissance maximum théorique demandée).

Réglementairement, au vu des besoins estimés actuellement sur la ressource, une solution au-delà des seuils GMI semblent complexe techniquement et économiquement. Il sera donc recommandé de conserver le régime de la GMI. Les zonages réglementaires actuels recensés ne sont pas incompatibles avec le projet d'exploitation géothermique. En particulier et malgré, la proximité avec le périmètre de protection éloigné du forage de Cayenne, un projet d'exploitation géothermique relevant du régime réglementaire de la GMI aurait des incidences très limitées sur l'ouvrage AEP.

Si les besoins thermiques devaient être relevés à l'issue de travaux de reconnaissance positifs, il serait néanmoins recommandé de réaliser une modélisation hydrodynamique et thermique du projet pour s'assurer de l'absence d'incidences pressenties à ce stade.

Le projet d'exploitation géothermique sur nappe ou sonde pourrait être éligible au fond de subvention porté par l'ADEME (Fond Chaleur), sous réserve du respect des critères lorsque le projet aura été défini plus finement. Cette subvention peut financer jusqu'à 70 % de l'étude de faisabilité. En phase définitive, le montant de la subvention reste proportionnel à la quantité finale d'énergie extraite au sous-sol. L'enveloppe d'aide pourra être estimée lors des études ultérieures.



### **Restriction d'usage du rapport**

Ces informations sont soumises à l'exhaustivité et la fiabilité des documents disponibles et consultables, l'existence d'une information cachée ou erronée est toujours possible. L'exhaustivité et la véracité absolue ne peut donc être garantie.

Tous les éléments de ce rapport (cartes, photos, pièces et documents divers) constituent une seule et même entité indissociable. La responsabilité de GEOTHER ne saurait être engagée par une utilisation, une communication, ou une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes sans l'accord préalable de GEOTHER.





**Synergie**  
*d'expertises*

**SIEGE SOCIAL - AGENCE IDF** - [contact@geother-gengis.fr](mailto:contact@geother-gengis.fr)  
01 55 17 16 10 - 36, rue Salvador Allende - 92000 Nanterre

**geother-gengis.fr**

SAS au capital de 10 000 € - APE : 7112B  
Siret : 508 594 413 00066 - TVA : FR23 508 594 413

**AGENCE GRAND-EST**

3 rue de l'Embranchement - 67116 Reichstett Strasbourg  
06 80 58 74 10 - [strasbourg@geother-gengis.fr](mailto:strasbourg@geother-gengis.fr)

**AGENCE NOUVELLE AQUITAINE**

Bâtiment G – 4 voie Romaine 33610 CANEJAN  
05 40 25 49 22 - [bordeaux@geother-gengis.fr](mailto:bordeaux@geother-gengis.fr)

**AGENCE AUVERGNE-RHONE-ALPES**

5, rue des Essarts - 69500 Bron  
04 81 68 25 19 - [lyon@geother-gengis.fr](mailto:lyon@geother-gengis.fr)