



GEOtherMAQ

Géothermie d'Aquitaine

Effili^{sun}s

Rapport d'étude de faisabilité : Ecole et Salle des Fêtes d'Aussac-Vadalle



Mise en place d'un champ de sondes géothermiques verticales		Version	V0	V1
		Date	10/02/2026	
Client :	Commune d'Aussac-Vadalle	Rédaction	Nathanaël MAROT Théo DARRAS	
Référence :	5087-ET01-V0	Relecture	Frédéric PASCAUD	



Table des matières

I.	Résumé et conclusions partielles de l'étude.....	3	F.	BASOL.....	19
II.	Démarche et objectifs de l'étude.....	5	G.	ICPE.....	20
III.	Définition des besoins chaud/froid du site.....	6	H.	Transport et stockage de matières dangereuses.....	21
A.	Localisation du site.....	6	I.	Réseaux d'eaux usées.....	22
B.	Résumé et compatibilité avec la GMI.....	7	II.	Enquête hydrogéologique.....	23
IV.	Principe de la Géothermie sur sondes.....	8	A.	Contexte géologique.....	23
A.	Prélèvement des calories en profondeur.....	8	III.	Evaluation géothermie sur sondes.....	24
B.	Fonctionnement d'une Pompe à chaleur (PAC).....	9	A.	Logiciel PILESIM.....	24
C.	Recharge thermique par Chaussée thermoactive.....	11	B.	Propriétés thermiques du sous-sol.....	25
D.	Cadre réglementaire de la Géothermie de Minime Importance (GMI).....	12	C.	Paramètres de la PAC.....	26
V.	Contexte réglementaire du site.....	13	D.	Géométrie et propriétés des sondes.....	27
A.	SDAGE.....	13	E.	Scénario 1 : Géothermie seule.....	28
A.	Code Civil.....	15	F.	Scénario 2 : Géothermie et chaussée thermoactive.....	30
B.	SAGE.....	16	G.	VRD.....	32
C.	Zones naturelles.....	17	H.	Emplacement des sondes.....	33
D.	Forages à proximité et périmètres de protection.....	18	VI.	Coûts d'investissement.....	34
E.	Plan de prévention des risques.....	19	A.	Evaluation des investissements de la géothermie.....	34
			B.	Coûts de maintenance et d'exploitation :.....	35



I. Résumé et conclusions partielles de l'étude

Sur le plan réglementaire, le projet est conforme aux exigences et dispositions du régime dérogatoire de la Géothermie de Minime Importance, il est donc éligible à ce régime sur la base d'une simple télédéclaration.

Le sous-sol au droit du site, majoritairement calcaire, se prête bien à la mise en place de sondes géothermiques verticales.

Cette étude préliminaire a comparé la mise en place d'un champ de sondes unique à cette même solution à laquelle on adjoint une chaussée thermoactive pour couvrir uniquement les besoins en chauffage de l'école élémentaire et de la salle polyvalente d'Aussac-Vadalle. Soit :

- Scénario 1 : Mise en place de 5 sondes de 150m de profondeur, pour un coût estimatif de 115k€
- Scénario 2 : Mise en place de 3 sondes de 150m de profondeur couplée à 100m² de chaussée thermoactive, pour un coût estimatif de 112,7k€

Le gain financier des économies de sondes compensant à peine le surcoût de la chaussée thermoactive, il a été décidé par la Maîtrise d'Ouvrage en réunion le 05/02/2026 d'abandonner la chaussée thermoactive.

Dans la version complétée de cette pré-étude, les besoins des deux bâtiments seront traités par des champs de sonde distincts afin de limiter le linéaire de canalisations horizontales et d'éviter un passage de route. Les besoins en rafraîchissement seront pris en compte et la mairie sera intégrée au projet. Enfin, les aides éligibles du Fonds Chaleur de l'ADEME et des Certificats d'Economie d'Energie seront calculées pour le projet définitif.



Réglementairement, les contraintes de puissance et d'implantation de la Géothermie de Minime Importance ont été vérifiées :

Contraintes d'installation	
Profondeur des sondes inférieure à 200m	✓
Puissance thermique maximale échangée avec le sous-sol inférieure à 500kW	✓
La température du fluide circulant dans les sondes ne descend pas sous -3°C et ne dépasse pas les 40°C	✓
Installation compatible avec les objectifs des règlements locaux (SDAGE, et du SAGE, PPR, etc.)	✓
Contraintes d'implantation	
Pas de forage dans l'emprise d'un périmètre de protection immédiat ou rapproché de captage d'eau	✓
Installation située hors de l'emprise d'une zone naturelle	✓
Forages situés à plus de 35m de tout ouvrage souterrain de prélèvement d'eau destiné à la consommation humaine	✓
Forages situés à plus de 35m de tout stockage d'hydrocarbures, de produits chimiques, de produits phytosanitaires ou autres produits susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines	✓
Forages situés à plus de 35m de tout ouvrage de traitement des eaux usées	✓
Forages situés à plus de 35m de bâtiments d'élevage et leurs annexes relevant des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)	✓
Forages situés à plus de 200m de toute installation de stockage de déchet relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées	✓
Forages situés à plus de 5m de toute conduite d'assainissement individuelle ou collective d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines.	✓

De plus, afin d'être éligible à l'aide du Fonds Chaleur de l'ADEME, d'autres conditions sont à prendre en compte :

Éligibilité au Fonds Chaleur	
Production d'au moins 25MWh EnR/an	✓
Installation compatible avec les objectifs des règlements locaux (SDAGE, et du SAGE, PPR, etc.)	✓
COP machine supérieur à 4 en régime de température 0/-3°C évaporateur et 30/35°C condenseur	✓
SCOP global annuel estimé minimum de 3 dans les conditions d'application du projet	✓
EER machine supérieur à 3.6 en régime de température 12/7°C évaporateur et 30/35°C condenseur	✓
SEER global annuel estimé minimum de 3.3 dans les conditions d'application du projet	✓



II. Démarche et objectifs de l'étude

Dans le cadre du projet de rénovation énergétique de la salle des fêtes et de l'École élémentaire d'Aussac-Vadalle (16560), la commune souhaite étudier la faisabilité technico-économique pour la mise en place d'une installation géothermique sur sondes verticales couplé à une chaussée thermoactive permettant d'assurer les besoins en chauffage.

Le projet se situe 70 rue de la République à Aussac-Vadalle (16560). Le bureau d'étude GEOTHERMAQ aura en charge l'étude du sous-sol et le bureau d'études EFFILIOS l'étude de surface.

▪ Contenu du rapport

Ce rapport permet :

- De définir la situation future du projet
- De déterminer les besoins thermiques
- De valider la faisabilité de l'opération
- D'étudier le plan financier, économique et environnemental du projet

▪ Limite de l'étude

Cette étude est basée sur des prix moyens d'énergie observés. Une évolution des coûts des énergies pourrait accélérer ou diminuer le temps de retour sur investissement.

▪ Scénarios étudiés

Deux scénarios sont ici à l'étude :

- Scénario 1 : couverture de l'ensemble des besoins de chauffage de l'école et de la salle des fêtes (remplacement de la chaudière fioul et des chauffages électriques) par mise en place de deux pompes à chaleur associées à un champ de sondes géothermiques verticales
- Scénario 2 : Idem scénario 1, avec mise en place d'une chaussée thermoactive pour diminuer le nombre des sondes géothermiques



III. Définition des besoins chaud/froid du site

A. Localisation du site

Dans une démarche écoresponsable, la commune d'Aussac-Vadalle souhaite se doter d'une solution géothermique assistée par pompe à chaleur (éventuellement couplée à une chaussée thermoactive) pour assurer les besoins en chauffage de son école et sa salle des fêtes.

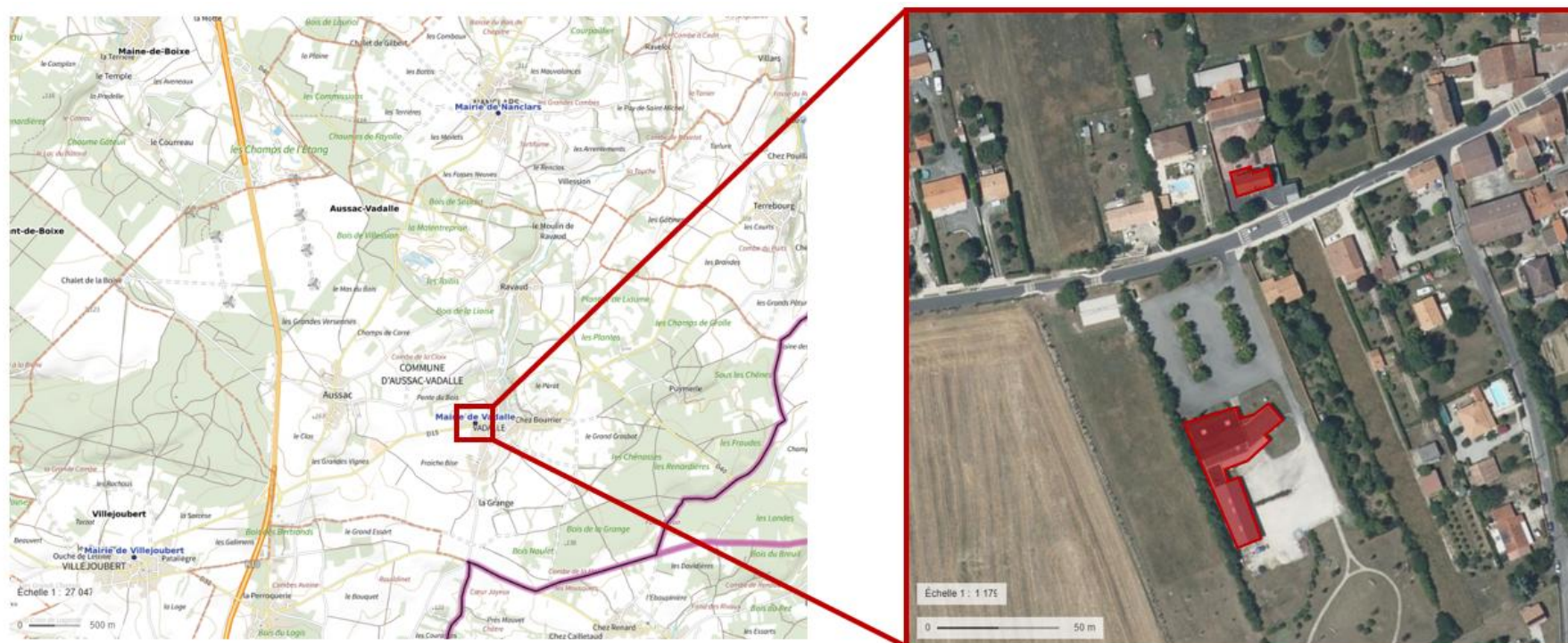


Figure 1 : Localisation du projet sur plan IGN et orthophotographie, source : Géoportail



B. Résumé et compatibilité avec la GMI

Les besoins thermiques du projet déterminés par EFFILIOS sont résumés dans la figure suivante :

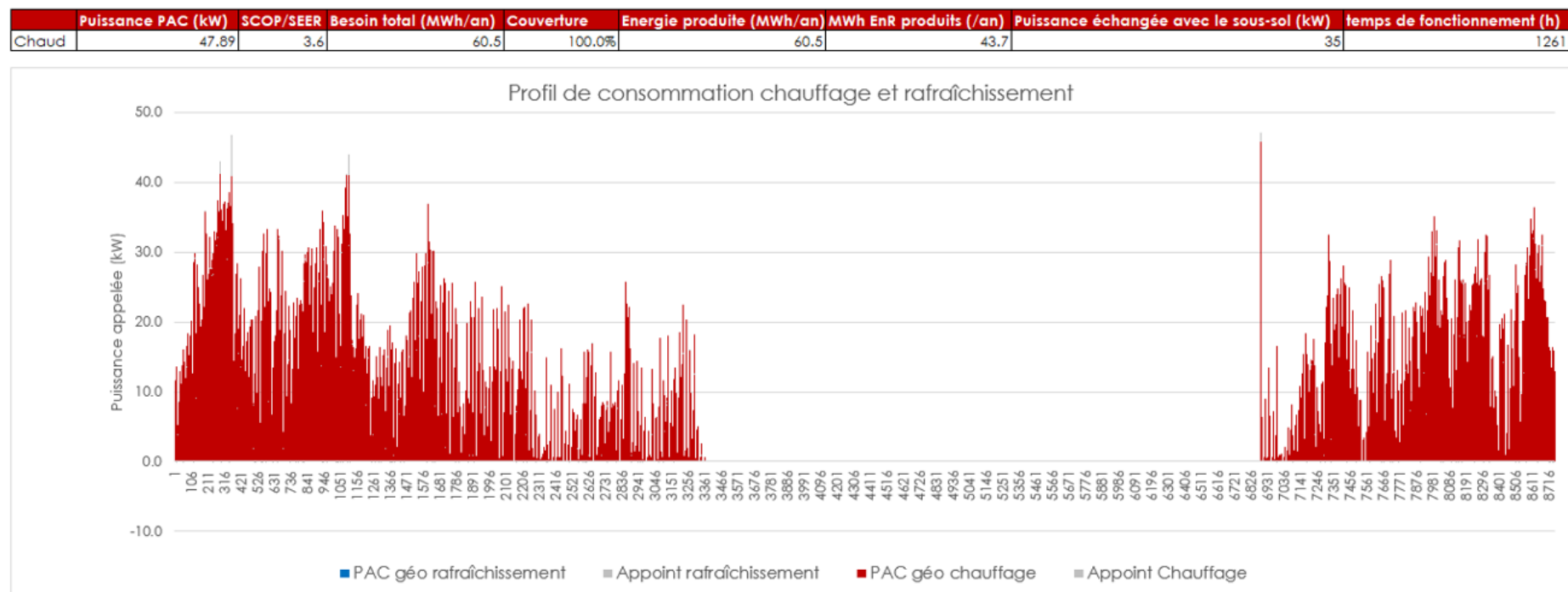
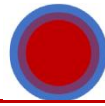


Figure 2 : Profil thermique et monotones du projet

Contraintes réglementaires	Valeur du projet	Validité du projet en GMI
Production d'au moins 25MWh EnR/an	43,7 MWh EnR/an	✓
Puissance thermique maximale échangée avec le sous-sol inférieur à 500kW	35 kW	✓



IV. Principe de la Géothermie sur sondes

A. Prélèvement des calories en profondeur

La géothermie sur sondes verticales (SGV) repose sur un principe simple : un ou plusieurs forages sont réalisés au droit d'un site ayant un besoin en chaud ou en froid. Dans ces forages sont disposés des tubes (généralement 4) en PEHD reliés en « double U » dans lesquels circule un fluide caloporteur (généralement de l'eau, parfois glycolée). Une sonde géothermique fonctionne en cycle fermé, ce qui signifie qu'aucune eau n'est échangée entre la sonde et le milieu, l'échange de chaleur se fait exclusivement par conduction thermique.

Le forage est entièrement cimenté par un coulis géothermique spécifique, qui sert plusieurs buts : assurer la pérennité de la sonde (garantie constructeur de 50 ans) ; éviter de mettre en contact des nappes aquifères qui étaient à l'origine séparées par une couche imperméable ; maintenir un bon transfert de chaleur entre le milieu géologique et les tubes de la sonde.

Puisque la température du sous-sol à faible profondeur (environ 12°C à 10m) n'est pas suffisante pour subvenir directement au besoin de chaleur d'un bâtiment, cette énergie doit être valorisée dans un circuit secondaire, à l'aide d'une pompe à chaleur.

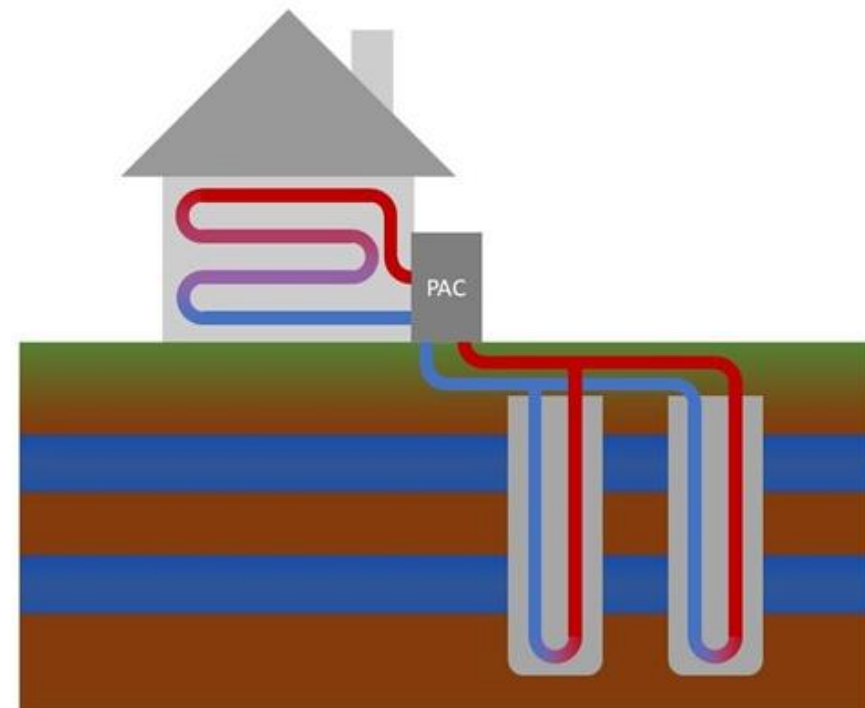
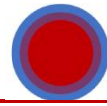


Figure 3 : Implantation d'un champ de sondes géothermiques verticales



B. Fonctionnement d'une Pompe à chaleur (PAC)

Une pompe à chaleur est un dispositif permet de faciliter l'échange de calories entre deux milieux.

Elle possède un deuxième avantage : l'eau circulant dans le sol via les sondes a souvent un régime de température trop faible pour réchauffer directement le bâtiment (10 – 15 °C) ; la pompe à chaleur permet de valoriser la température de cette eau via un circuit secondaire.

Ce système est rendu possible par un « investissement » d'énergie électrique, qui permet de puiser « gratuitement » l'énergie géothermique du sous-sol. Le COP (coefficient of performance) d'une pompe à chaleur définit son efficacité à puiser la puissance du sous-sol en échange d'une puissance électrique.

Ce COP est défini différemment selon que la PAC sert à produire du chaud ou du froid :

$$COP_{chaud} = \frac{P_{géothermique} + P_{électrique}}{P_{électrique}} ; COP_{froid} = \frac{P_{géothermique} - P_{électrique}}{P_{électrique}}$$

L'avantage d'un tel système, c'est que par un système de vannes, il est possible « d'inverser » le montage sous-sol -> PAC -> bâtiment, de sorte à pouvoir produire de la chaleur ou du froid.

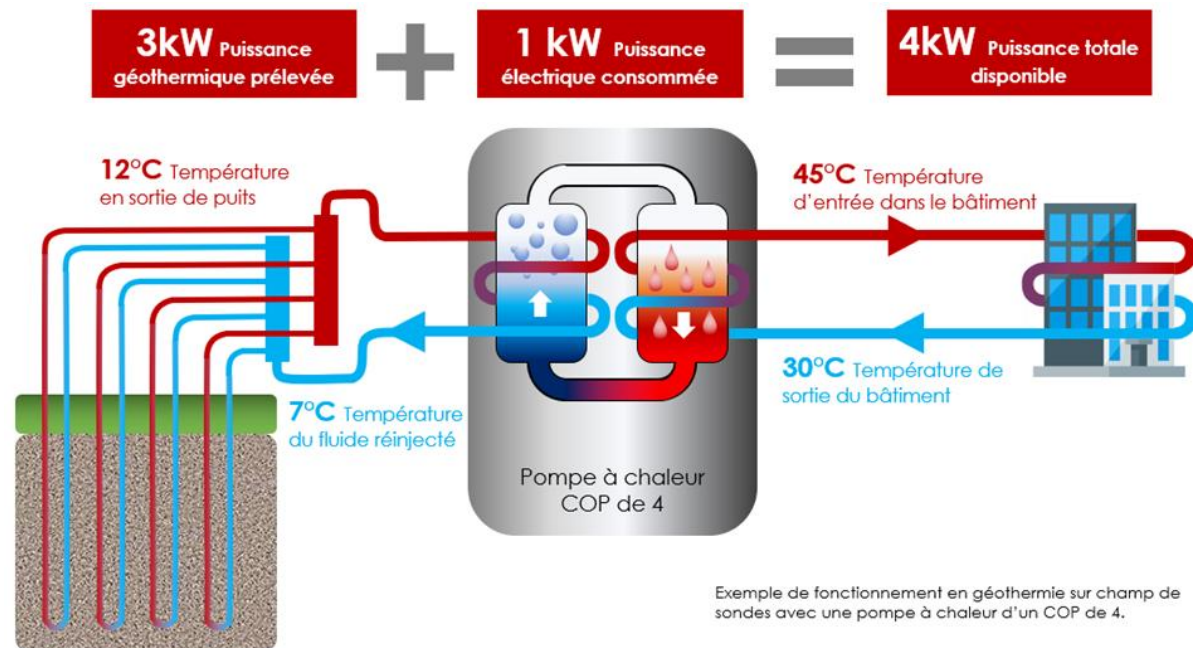
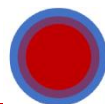


Figure 4 : Illustration du COP d'une pompe à chaleur en production de chaud

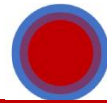


Ce schéma de principe est également valable pour une pompe à chaleur aérothermique. La pompe géothermique fonctionne en régime eau/eau, là où une pompe aérothermique fonctionne en régime air/eau.

La pompe à chaleur eau/eau (géothermique) présente deux avantages par rapport à la PAC air/eau (aérothermique) :

- L'eau a un pouvoir calorifique bien plus élevé que l'air, ce qu'il signifie que pour une même puissance extraite, il faut faire circuler beaucoup plus d'air que d'eau.
- A partir de 10m de profondeur, la température devient stable tout au long de l'année. En été, le besoin de rafraîchissement est le plus élevé, mais en toute logique, c'est la période où l'air extérieur est le plus chaud. En appliquant le principe de fonctionnement de la PAC à l'aérothermie, il est alors nécessaire de transmettre des calories depuis le bâtiment, vers de l'air peu conducteur thermiquement et chaud de surcroît. Ces conditions sont tout à fait défavorables au fonctionnement de la PAC, et ont tendance à diminuer drastiquement son COP. Le problème est analogue en hiver, puisque cette fois-ci il est question de soutirer des calories à de l'air froid, pour les transmettre au bâtiment qu'il faut réchauffer. En somme, les PAC en aérothermie sont les plus efficaces dans les périodes climatiques intermédiaires, où le besoin en chaud et froid est de toute façon le plus faible.

Utiliser le sous-sol comme source ou réservoir de calories, c'est s'assurer du fonctionnement stable et efficace de la PAC tout au long de l'année, et peu importe la température extérieure.



C. Recharge thermique par Chaussée thermoactive

L'utilisation exclusive du champ de sondes pour couvrir des besoins en chaud implique à long terme une décharge thermique du sous-sol, ce qui nous contraint à implanter un nombre conséquent de sondes pour rester dans les limites réglementaires de température du fluide caloporteur.

Une autre solution consiste à utiliser une méthode de recharge thermique du sous-sol, par exemple une chaussée thermoactive. Ce système consiste à récupérer la chaleur qui s'accumule dans la chaussée en journée par le biais de tuyaux horizontaux, puis d'injecter cette chaleur dans les sondes géothermiques quand celles-ci ne sont pas sollicitées par les pompes à chaleur pour produire du chauffage.

POWER ROAD®

Un fonctionnement simple & astucieux...

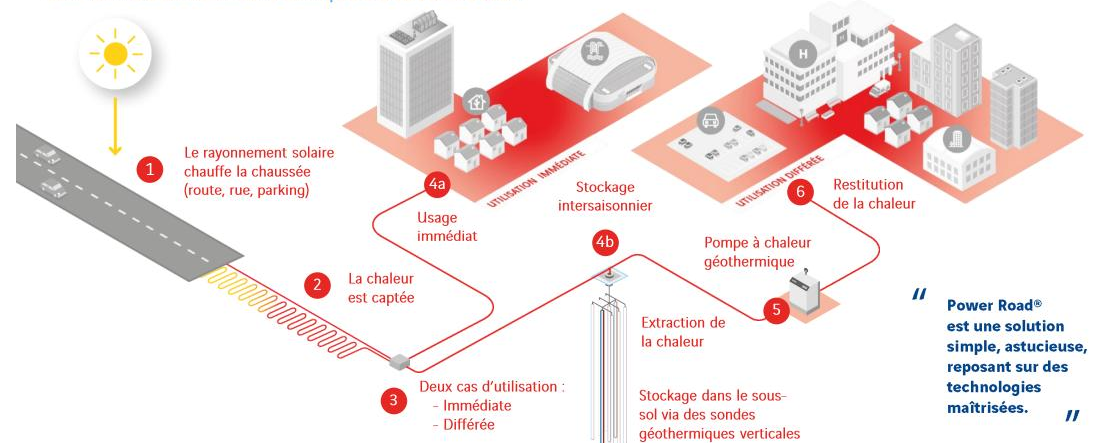
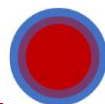


Figure 5 : Fonctionnement schématique de la chaussée thermoactive

Cette méthode permet de rééquilibrer la décharge thermique du sous-sol, de réduire le nombre de sondes nécessaires au fonctionnement pérenne de l'installation, et dans une moindre mesure d'améliorer le coefficient de performance des pompes à chaleur.

Un effet secondaire bénéfique de cette solution est la réduction des îlots de chaleur urbains liés à l'accumulation de chaleur dans l'enrobé, la chaleur étant efficacement évacuée dans le sous-sol.



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

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

- La puissance totale échangée avec le sous-sol ne dépasse pas 500kW
- Les puits ne dépassent pas une profondeur de 200m
- La température du fluide circulant dans les sondes ne descend pas sous -3°C et ne dépasse pas les 40°C
- Le projet ne se situe pas en « zone rouge »

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

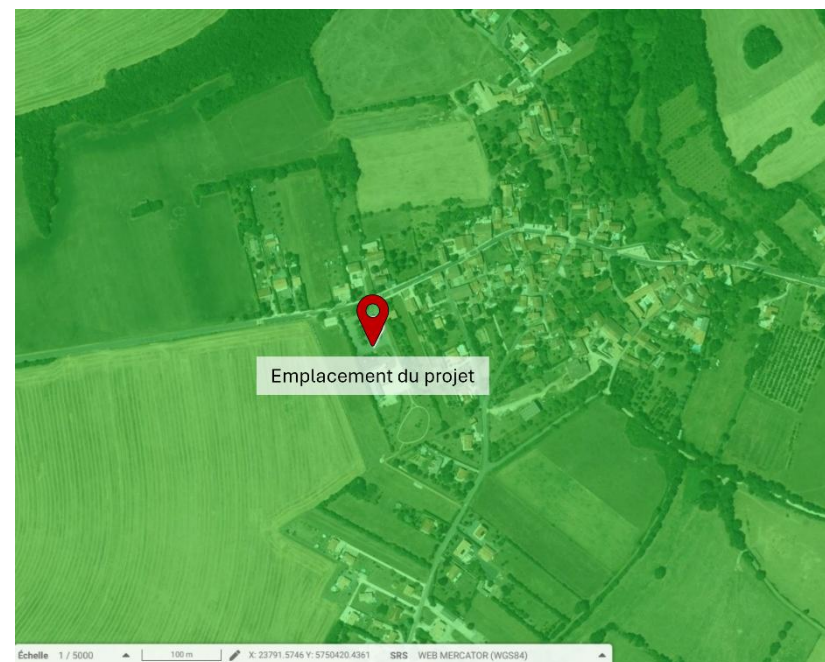
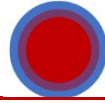


Figure 6 : Carte de zonation de la GMI sur les échangeurs géothermiques fermés (sondes) entre 100 et 200m de profondeur (source : géothermies.fr ; consultation : février 2026)

Le projet se situe en « zone verte ». Une simple télédéclaration du projet sera suffisante.



V. Contexte réglementaire du site

A. SDAGE

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

« Face aux enjeux des changements globaux majeurs (changement climatique, perte de biodiversité, augmentation de la population) et de la santé publique, le SDAGE 2022-2027 propose la mise en œuvre d'une politique de l'eau permettant au grand Sud-Ouest de s'adapter à ces mutations profondes et d'en atténuer les effets.

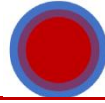
Sur la base de l'état des lieux de 2019, l'ambition du SDAGE est d'atteindre 70% de cours d'eau en bon état d'ici 2027.

Le SDAGE se fixe 4 catégories d'objectifs majeurs : créer les conditions de gouvernance favorables, réduire les pollutions, agir pour assurer l'équilibre quantitatif de la ressource en eau, préserver et restaurer les fonctionnalités des milieux aquatiques et humides. Il intègre et complète, sous forme de principes fondamentaux d'action, les mesures issues du plan d'adaptation au changement climatique du bassin Adour-Garonne validé en 2018.

Le SDAGE se veut volontariste sur des sujets clés :

- *Couverture intégrale du territoire par des SAGE,*
- *Mise en avant des démarches concertées avec l'ensemble des acteurs,*
- *Engagement à la suppression des pollutions domestiques significatives,*
- *Développement d'une gestion quantitative intégrée mixant plusieurs axes de travail,*
- *Mise en avant des solutions fondées sur la nature au sein du mix de solutions,*
- *Exigences fortes sur la résolution des problèmes de pollution des captages.*

Le Programme de Mesures associé au SDAGE synthétise les actions techniques, financières ou réglementaires à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs du SDAGE. Il identifie notamment des mesures territorialisées en concertation avec le niveau local. Le coût de ces actions est estimé à 3,1 milliards d'euros, soit 517 millions d'euros par an, pendant six ans. »



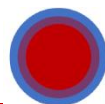
En particulier, plusieurs points d'intérêt du SDAGE concernent la géothermie sur nappe :

« **B30 Sécuriser les forages mettant en communication les eaux souterraines** : Il est essentiel que les collectivités territoriales et leurs groupements compétents, en lien avec les CLE des SAGE, établissent un programme de diagnostic des forages qui accroissent les risques de contamination des eaux souterraines, en particulier dans les périmètres de protection des captages d'eau potable. »

« **C13 Maîtriser l'impact de la géothermie sur le plan quantitatif** : L'autorité administrative veille à ce que, pour tous les forages à usage géothermique répondant, soit à l'article L.112-1 du code minier et au décret n°78-498 du 28 mars relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie, soit aux articles R. 214-1 et suivants du code de l'environnement, les eaux prélevées soient restituées dans leur réservoir d'origine sauf cas exceptionnel justifié sur le plan hydrogéologique.

En cas de projet alternatif, une étude technico-économique devra démontrer l'intérêt du projet et quantifier les impacts sur l'environnement, dans le cadre de la réglementation applicable au projet. Il pourra être dérogé à ce principe uniquement lors de la régularisation ou du renouvellement d'autorisation d'exploiter des installations existantes qui ne procèdent pas à la réinjection des eaux prélevées si :

- L'impossibilité de procéder à la réinjection des eaux prélevées est étayée par une étude technicoéconomique ;
- Les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable sont mises en œuvre pour valoriser les eaux ne faisant pas l'objet d'une réinjection et optimiser le rendement énergétique de manière à abaisser au maximum la température des rejets à une valeur compatible avec le milieu récepteur ; »



A. Code Civil

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



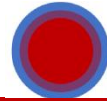
B. SAGE

Le projet est concerné par le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) Charente. Aucun paragraphe ne fait mention de la géothermie. Cependant, il est fait mention de l'importance de préserver les milieux aquatiques ainsi que de contribuer à la résorption des déficits quantitatifs.

Préservation nappe Turonien infra-toarcien

Mise en conformité des ouvrages

Le choix d'un foreur qualifié RGE permettra de s'assurer du respect des normes et règles en vigueur lors du forage.



C. Zones naturelles

Une Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type I se trouve à proximité du projet :

Code	Nom	Type	Superficie (ha)
540003220	Forêt de Boixe	ZNIEFF I	39

Cependant, le site ne se situe pas sur l'emprise de cette dernière, aucune disposition particulière n'est à prendre.

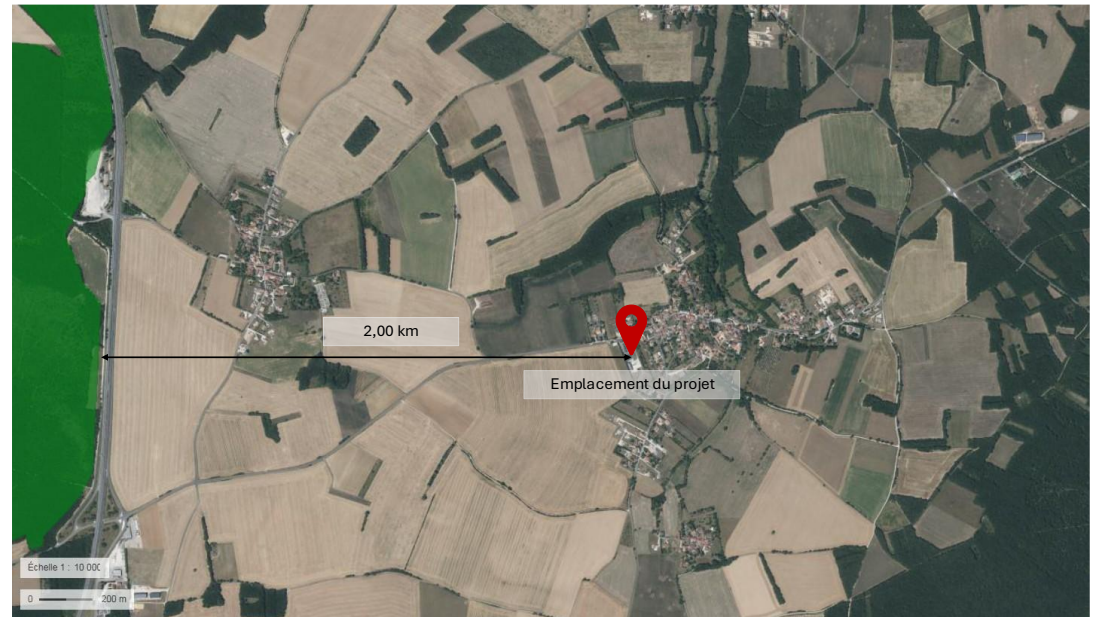
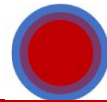


Figure 18 : Périmètres des zones naturelles à proximité du site (source : Géoportail ; consultation : février 2026)

Contrainte réglementaire	Validité du projet en GMI
Installation située hors de l'emprise d'une zone naturelle	✓



D. Forages à proximité et périmètres de protection

L'ARS recense deux captages d'adduction d'eau potable à proximité de la zone d'étude. Ces captages font l'objet de périmètres de protection. Situés à distance considérable du projet, ces derniers n'exerceront aucune influence notable sur ces captages, aucune précaution supplémentaire n'est à prendre.

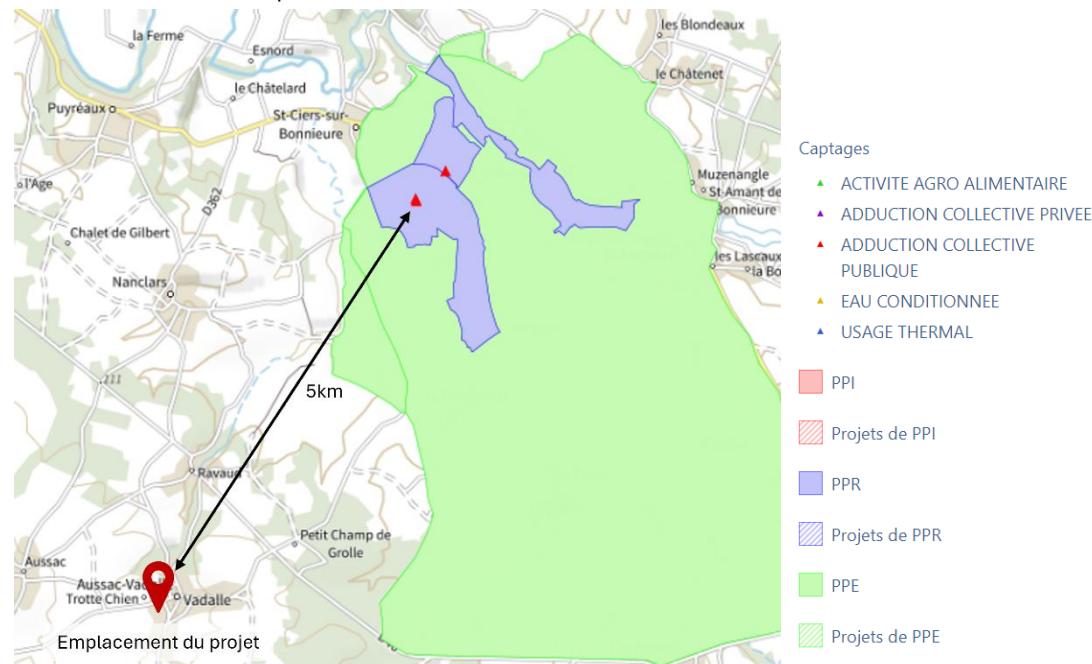
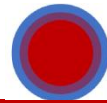


Figure 19 : Périmètres de protection de captages d'eau potable à proximité du site (source : ARS ; consultation : février 2026)

Contrainte réglementaire	Validité du projet en GMI
Pas de forage dans l'emprise d'un périmètre de protection immédiat ou rapproché de captage d'eau	✓
Forages situés à plus de 35m de tout ouvrage souterrain de prélèvement d'eau destiné à la consommation humaine	✓



E. Plan de prévention des risques

La commune ne fait pas l'objet d'un plan de prévention des risques, aucune disposition particulière n'est à prendre.

F. BASOL

Les anciens sites industriels ou activités de service (base de données BASOL) référencés autour de Aussac-Vadalle sont présents dans la figure ci-dessous. Les sites les plus proches sont situés à 1,4 et 1,6 km du projet, aucune disposition particulière n'est à prendre.

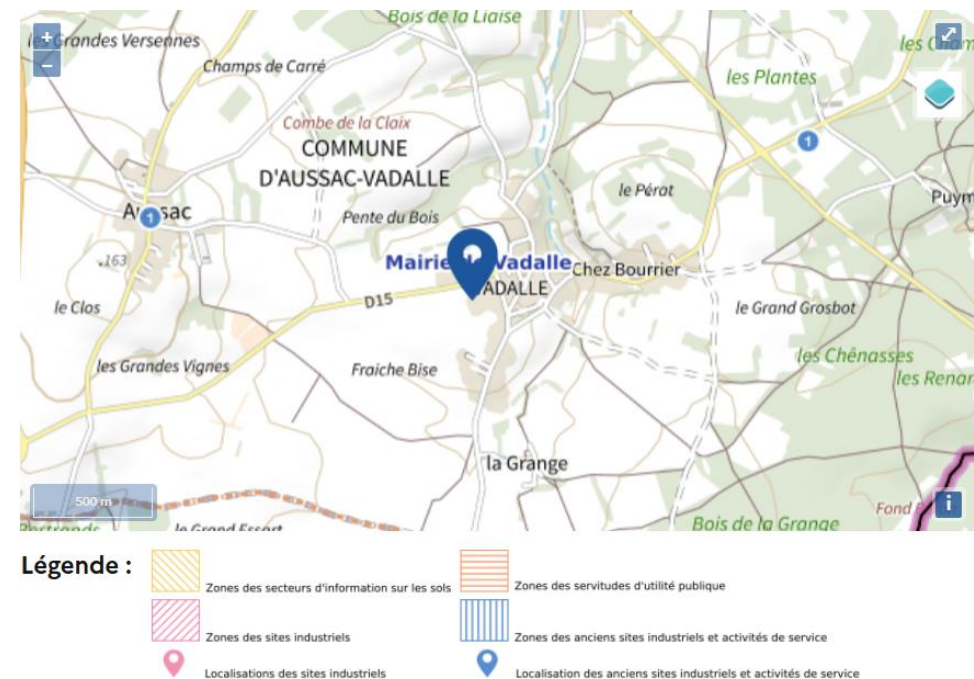
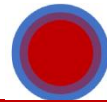


Figure 7 : Localisation des anciens sites industriels et activités de service à proximité du site (source : Géorisques ; consultation : février 2026)



G. ICPE

Une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement est référencée à proximité du site. De nombreuses informations sont disponibles concernant la nature de ces ICPE (notamment s'il s'agit d'ateliers, de réparation et installation de machines et équipements, fabrication de matériels de transport, collecte, traitement et élimination de déchets). Néanmoins, leur distance au projet est suffisante, il ne présente pas de risques quant à la contamination des nappes aquifères. Le forage devra être situé à plus de 200 mètres de toute installation de stockage de déchet relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées.

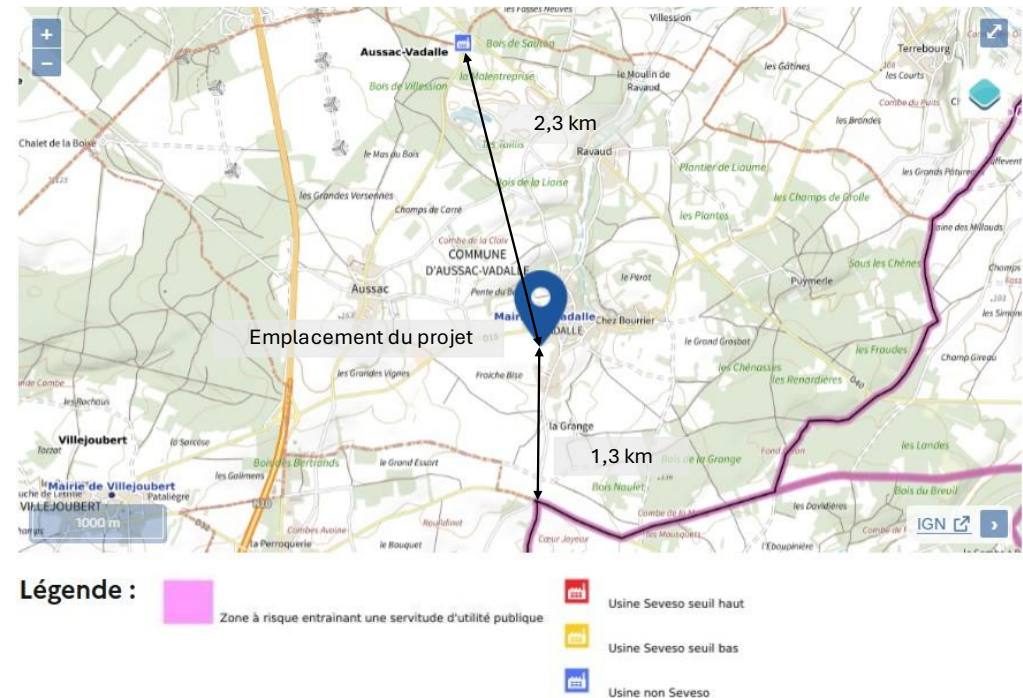
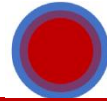


Figure 22 : ICPE à proximité du site (source : Géorisques ; consultation : février 2026)

Contrainte réglementaire	Validité du projet en GMI
Forages situés à plus de 35m de tout ouvrage de traitement des eaux usées	✓
Forages situés à plus de 35m de bâtiments d'élevage et leurs annexes relevant des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)	✓
Forages situés à plus de 200m de toute installation de stockage de déchet relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées	✓



H. Transport et stockage de matières dangereuses

Le projet se situe à 300 m d'une canalisation de transport de matières dangereuses (gaz, hydrocarbures, produits chimiques), autrement dit, de gaz naturel dans ce cas. Une canalisation d'hydrocarbures se situe à 1.3 km au sud du projet. Le puits va devoir se situer à plus de 35 mètres de tout stockage d'hydrocarbures.



Légende :



Figure 8 : Canalisation de transport de matières dangereuses à proximité du site (source : Géorisques ; consultation : février 2026).

Contrainte réglementaire	Validité du projet en GMI
Forages situés à plus de 35m de tout stockage d'hydrocarbures, de produits chimiques, de produits phytosanitaires ou autres produits susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines	✓



I. Réseaux d'eaux usées

Afin d'éviter la contamination des eaux profondes, les forages doivent être à une distance de 5m de toute conduite d'assainissement collectif ou non collectif.

Contraintes réglementaires	Validité du projet en GMI
Forages situés à plus de 5m de toute conduite d'assainissement individuelle ou collective d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines.	✓



II. Enquête hydrogéologique

A. Contexte géologique

D'après la carte géologique du BRGM de MANSLE au 1/50 000, le site repose sur des formations carbonatées du Jurassique : Calcaire à grain fin et calcaire sublithographique datant de l'Oxfordien terminal au Kimméridgien inférieur. Les différents puits forés aux alentours d'Aussac-Vadalle nous ont permis d'établir une coupe géologique prévisionnelle au droit du site :

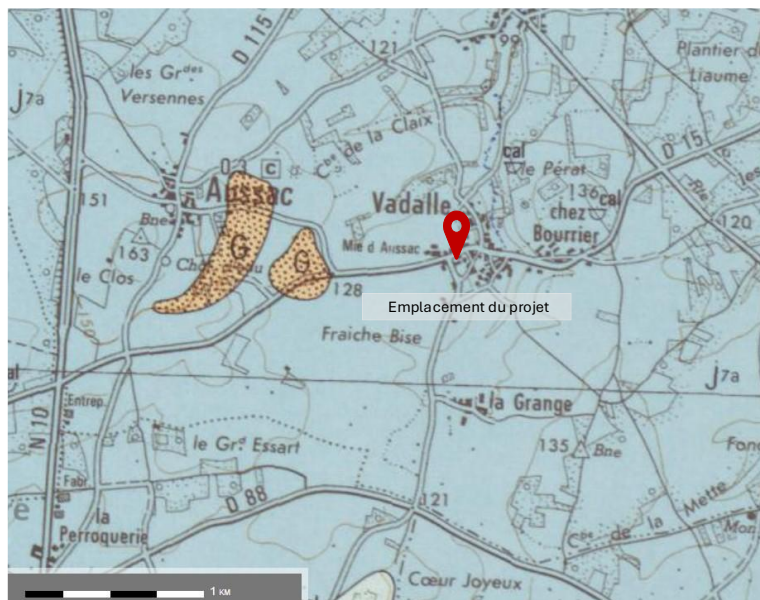


Figure 9 : Géologie affleurante à proximité du site, (source : BRGM))

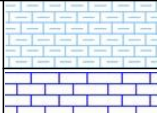
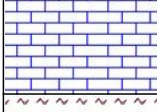
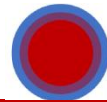
Profondeur	Formation	Coupe	Lithologie	Stratigraphie
De 0 à 1 m	Terre végétale		Terre végétale	Quaternaire
De 1 à 7 m	Formation de La-Pallice		Calcaire fin beige légèrement argileux	Oxfordien supérieur
De 7 à 20 m	Formation de Mansle		Calcaire argileux	
De 20 à 70 m			Alternances de calcaire argileux et de marne gris clair	
De 70 à 100 m			Marnes avec des traces d'oxydation	
De 100 à 138 m			Calcaire gris à beige	

Figure 10 : Log géologique prévisionnel



III. Evaluation géothermie sur sondes

Lors du dimensionnement d'un champ de sondes géothermiques, le paramètre limitant est la **température moyenne du fluide caloporteur** au sein des sondes. En effet, elle ne doit pas être trop basse, ni trop élevée pour conserver le régime de la GMI (les limites sont fixées à **-3°C** et **40°C**).

Une géomodélisation est effectuée afin d'une part de quantifier la réponse thermique dynamique du sous-sol au fonctionnement du champ de sonde sur plusieurs années. D'autre part, elle permet d'optimiser la profondeur des sondes géothermiques pour permettre de répondre au besoin en énergie/puissance géothermique, tout en gardant la température du fluide caloporteur dans les limites imposées ci-dessus. L'ensemble de ces paramètres est étudié dans la suite de ce chapitre.

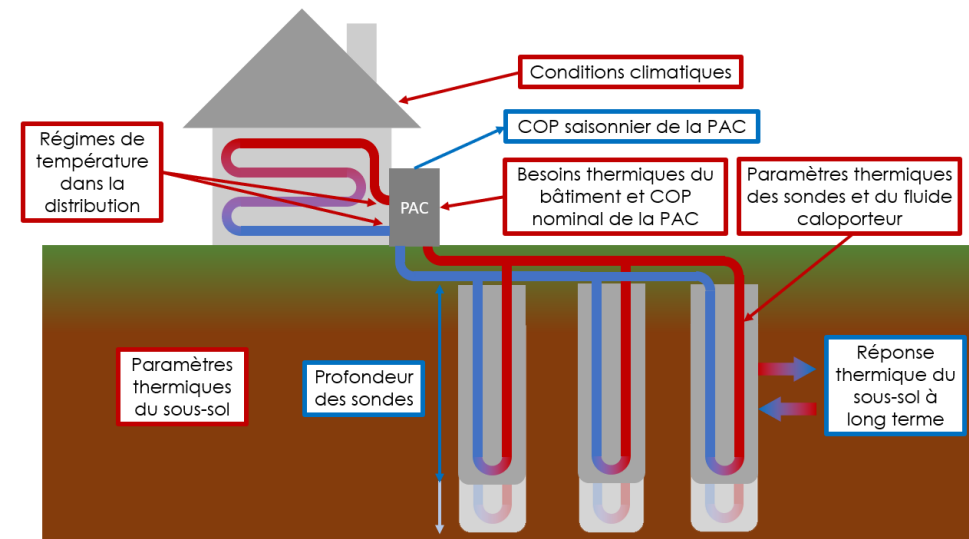


Figure 11 : Schéma de principe des entrées et sorties d'une Géomodélisation

A. Logiciel PILESIM

Le comportement de la pompe à chaleur et du sous-sol seront modélisés sur le logiciel PILESIM 2.1. Ce programme accepte en entrée les besoins thermiques en chaud et en froid du projet, la température extérieure, les propriétés thermiques du sol, les caractéristiques de la pompe à chaleur, la géométrie et les propriétés des sondes, ainsi que les régimes de température exigés dans la distribution. En particulier, cette méthode de calcul permettra de définir l'impact thermique du système sur cinquante ans, tout en recalculant à chaque pas de temps le COP et l'EER de la PAC en fonction des régimes de température dans la distribution et dans les sondes.



B. Propriétés thermiques du sous-sol

Deux caractéristiques majeures de chaque type de terrain rencontré doivent être évalués afin de pouvoir estimer l'impact thermique des sondes :

La capacité thermique volumique (C_m) : à savoir la capacité qu'a un matériau à emmagasiner la chaleur par °C gagné (en J/m³/K)

La conductivité thermique λ : à savoir la capacité qu'a un matériau à conduire la chaleur (en W/m/K)

La bibliographie (Pahud, 2002) ainsi que plusieurs Tests de Réponse Thermique effectués à proximité du site ont permis d'estimer ces caractéristiques thermiques :

Paramètre thermique	Valeur
C_m (MJ/m ³ /K)	2,2
λ (W/m/K)	2,6

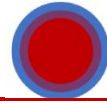
Par ailleurs, d'après la bibliographie, la température moyenne de surface est estimée à **12,9°C** et le flux géothermique local à **0,09 W/m²**.



C. Paramètres de la PAC

A ce stade de l'étude, les modèles de PAC n'ont pas encore été choisis. Des ratios de performances usuels ont été choisis pour représenter au mieux le système final :

Marque		A définir
Modèle		A définir
Chauffage	Puissance calorifique nominale	13 + 27 kW
	COP nominal	3,2
	Régime de température nominal à l'évaporateur	0/-3°C
	Régime de température nominal au condenseur	40/45°C



D. Géométrie et propriétés des sondes

Les propriétés et la configuration des sondes sont résumés dans le tableau et la figure suivante :

Tableau 1 Paramètres considérés pour la sonde

	Configuration	Double-U
Sonde	Diamètre (mm)	150
	Ecart moyen entre les sondes (m)	10
	λ du coulis (W/m/K)	2
	Résistance thermique de la sonde (K/W/m)	0,08
	Résistance thermique interne de la sonde (K/W/m)	0,1
Tube PEHD	Diamètre extérieur (mm)	32
	Epaisseur (mm)	3
	λ (W/m/K)	0,42
	Ecartement (mm)	80

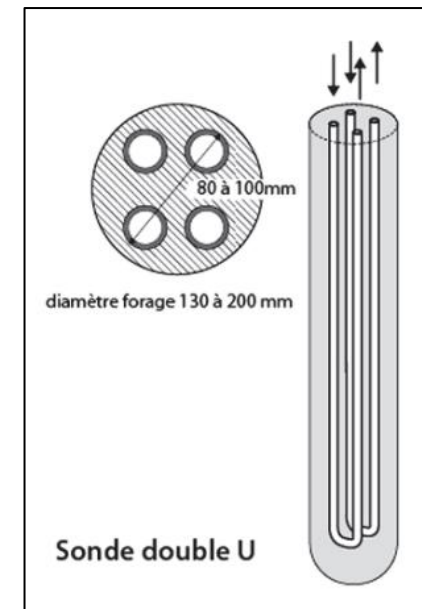
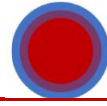


Figure 12 : Géométrie des sondes double U (BRGM)



E. Scénario 1 : Géothermie seule

Le fonctionnement global du système, en choisissant une configuration de **5 sondes espacées de 10 m** et profondes de **150m** est résumé dans le schéma suivant :

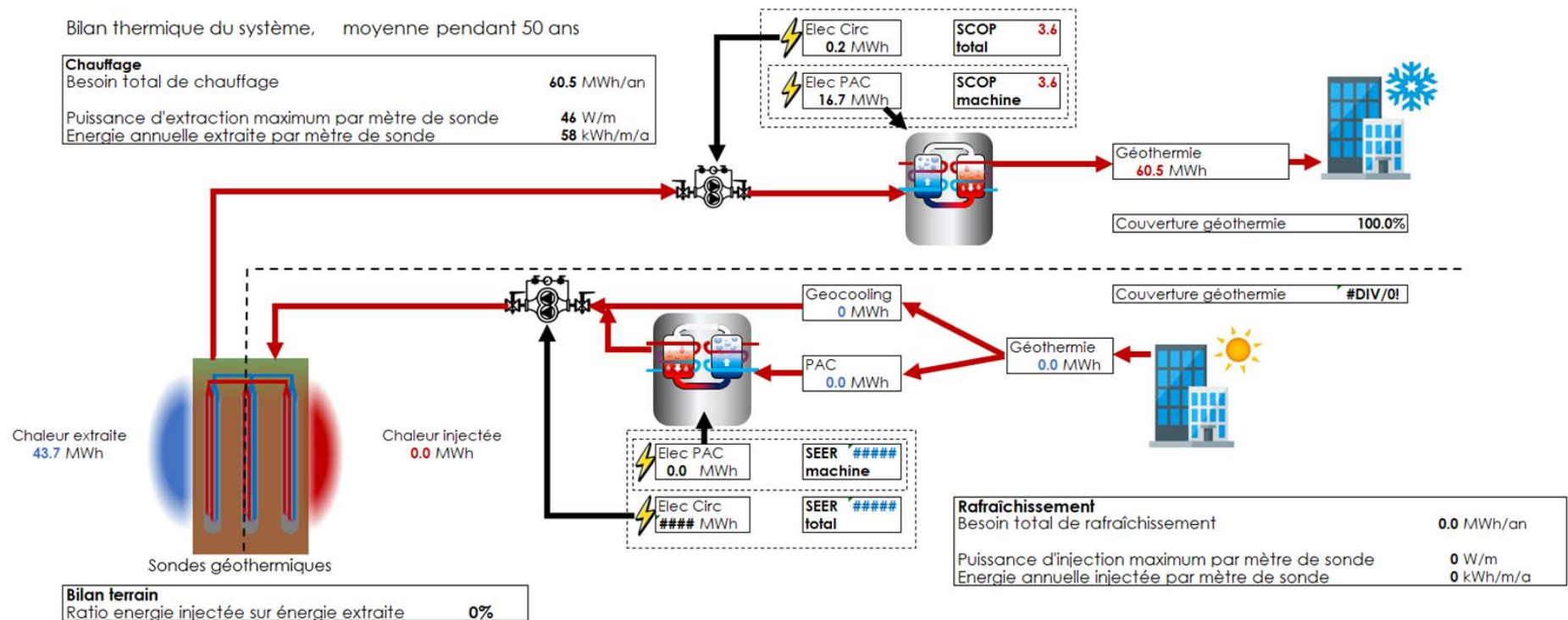
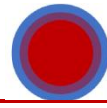
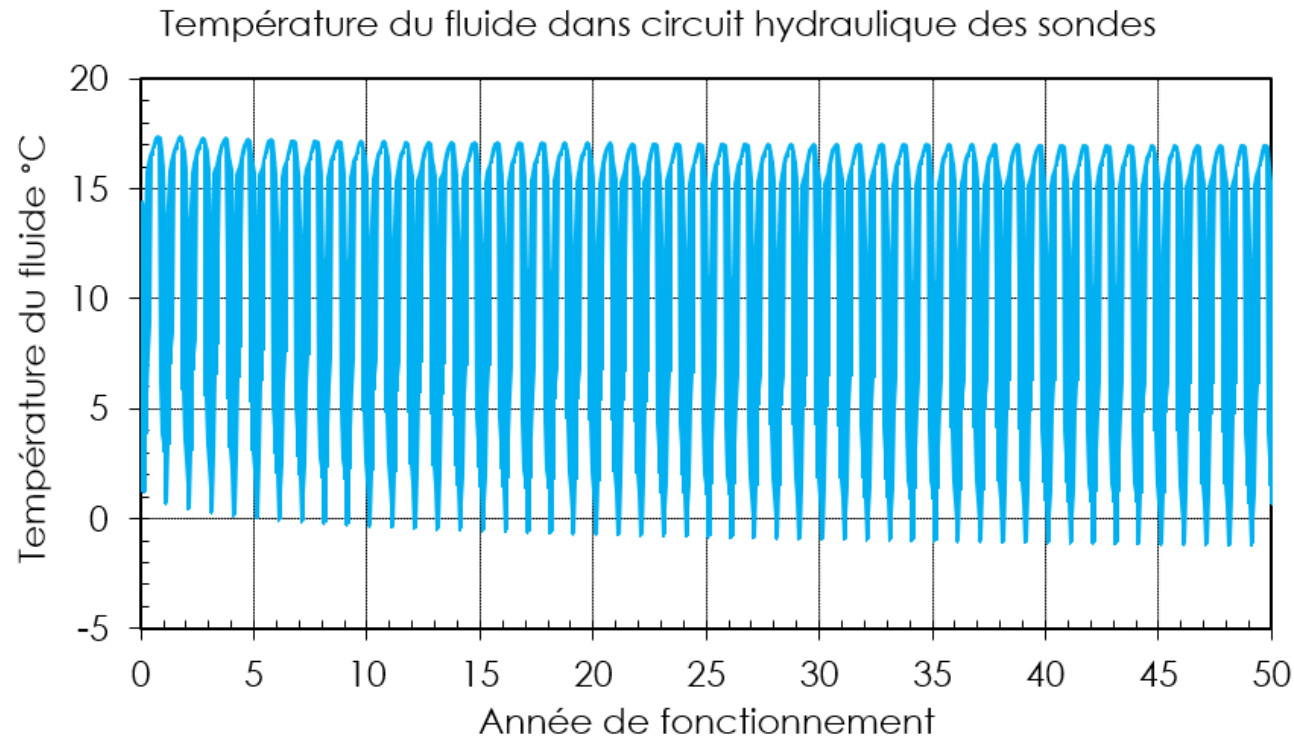


Figure 13 : Bilan thermique annuel du système en moyenne sur cinquante ans de fonctionnement

Contraintes réglementaires	Valeur du projet	Validité du projet en GMI
SCOP global annuel estimé minimum de 3 dans les conditions d'application du projet	3,6	✓



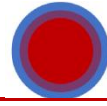
La température du fluide caloporteur est résumée ci-dessous :



T. fluide	°C	année
min	-1.26	50
max	17.37	1

Figure 14 : Evolution de la température du fluide caloporteur au cours du fonctionnement du système

Contraintes réglementaires	Valeur du projet	Validité du projet en GMI
La température du fluide circulant dans les sondes ne descend pas sous -3°C et ne dépasse pas les 40°C	De -1,3°C à 17,4°C	✓



F. Scénario 2 : Géothermie et chaussée thermoactive

Le fonctionnement global du système, en choisissant une configuration de **4 sondes espacées de 10 m** et profondes de **150m** **couplées à 100m² de chaussée thermoactive** est résumé dans le schéma suivant :

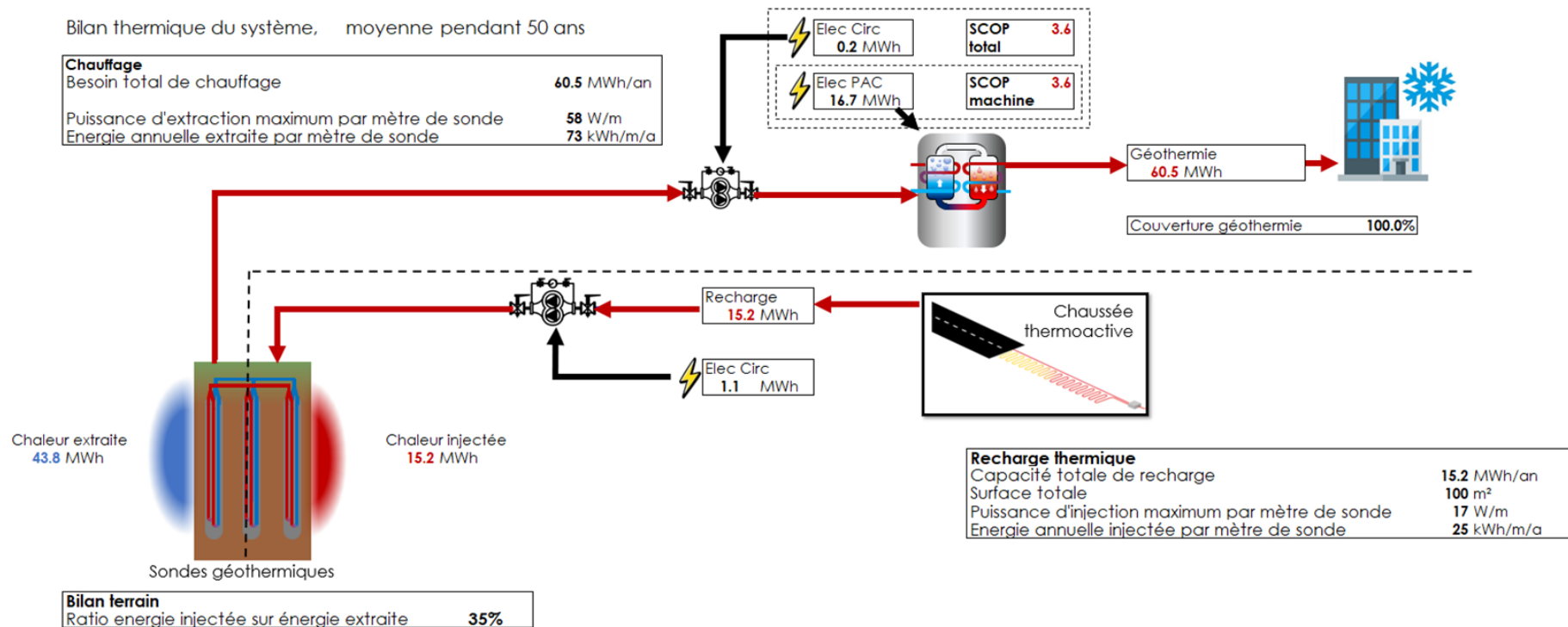
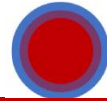
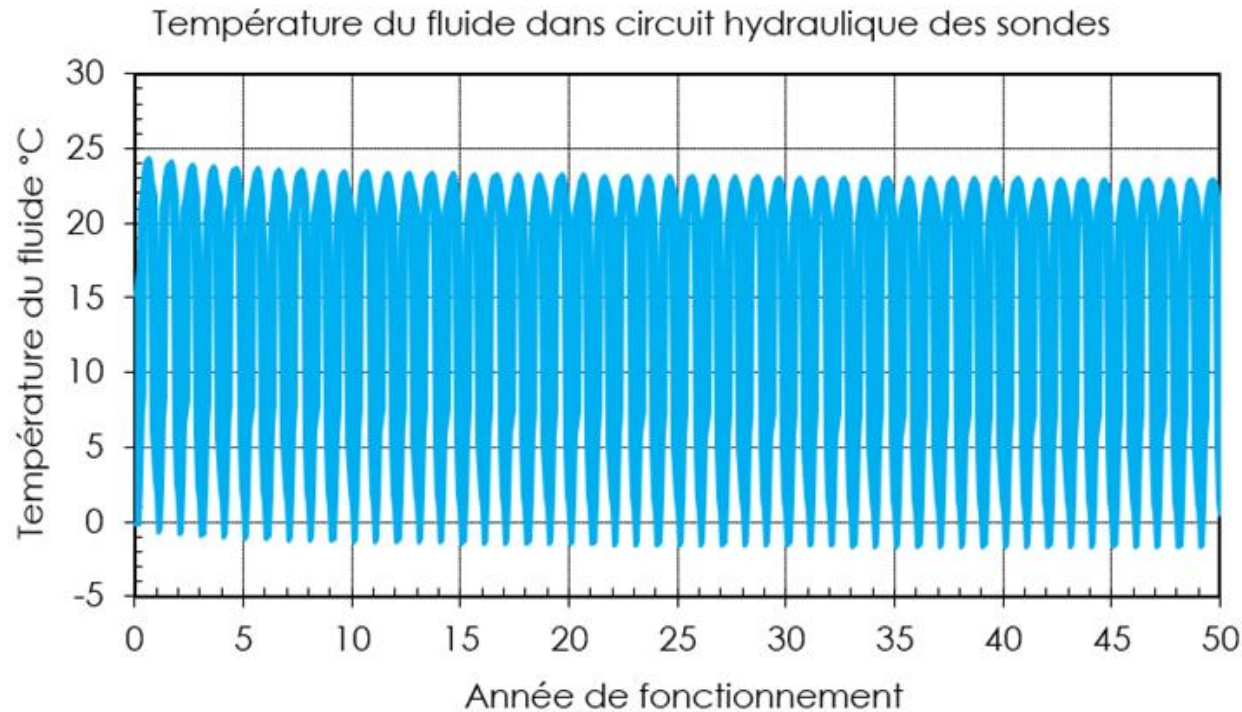


Figure 15 : Bilan thermique annuel du système en moyenne sur cinquante ans de fonctionnement

Contraintes réglementaires	Valeur du projet	Validité du projet en GMI
SCOP global annuel estimé minimum de 3 dans les conditions d'application du projet	3,6	✓



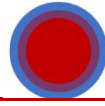
La température du fluide caloporteur est résumée ci-dessous :



T. fluide	°C	année
min	-1.73	50
max	24.35	1

Figure 16 : Evolution de la température du fluide caloporteur au cours du fonctionnement du système

Contraintes réglementaires	Valeur du projet	Validité du projet en GMI
La température du fluide circulant dans les sondes ne descend pas sous -3°C et ne dépasse pas les 40°C	De -1,7°C à 24,4°C	✓



G. VRD

Les travaux de VRD consisteront à poser en tranchée des tuyauteries en PE à une profondeur minimale de 80cm au sommet de la conduite.

Le réseau sera en matériaux PE100 PN12 DN40.

Pour le projet, une longueur de tranchées de 120m a été considérée.



H. Emplacement des sondes

Ci-dessous l'emplacement prévisionnel des sondes :



Figure 17 : Emplacement prévisionnel des sondes



VI. Coûts d'investissement

A. Evaluation des investissements de la géothermie

Objet	Scénario 1 Géothermie seule	Scénario 2 Géothermie et chaussée thermoactive
VRD Tranchées	18 000€	18 000€
Forage des sondes géothermiques Forage à 150 m Pose des PE double U Cimentation des sondes Fourniture et pose d'un collecteur Fourniture et pose des canalisations reliant le champ de SGV au local technique PE DN40 PN12 Essais de pertes de charge et équilibrage	90 000€	72 000€
AMO installations sous-sol Coordination des forages et tests AMO pendant phases clé	7 000€	5 700€
Chaussée thermoactive	/	17 000€
Total pour la partie sous-sol	115 000€	112 700€

Ces coûts d'investissement sont basés sur des ratios et tarifs des différents opérateurs économiques à date de réalisation de l'étude, ils peuvent avoir évolué au moment de la mise en œuvre du projet et ne remplacent pas les devis qui seront proposés.



B. Coûts de maintenance et d'exploitation :

P1 : Les coûts de fonctionnement seront, pour la partie sous-sol, exclusivement liés à la consommation électrique de la pompe de circulation du circuit primaire. Nous estimons la consommation électrique annuelle de cette pompe **à 0,2 MWh/an pour le scénario 1 et 1,3 MWh/an pour le scénario 2.**

Concernant les pompes à chaleur géothermique, nous estimons leur consommation électrique annuelle à **16,7 MWh/an pour les deux scénarios.**

P3 : 200€/an

Remplacement du glycol tous les 10 ans : 200€/