
Dossier d'autorisation de recherche, de travaux et d'exploitation
Gîte géothermique basse température

SCI DU DÔME

Kersaint Plabennec (29)





29 rue Blanche Hottinguer
77600 GUERMANTES
Tél : 01 64 30 47 81
Mail : g2hconseils@sfr.fr

SOMMAIRE

Introduction	1
Résumé de l'Etude d'Impact	2
1. Renseignements généraux	5
1.1. Renseignements sur le demandeur	5
1.2. Justification des capacités techniques et financières	5
1.2.1. <i>Le maître d'ouvrage</i>	5
1.2.2. <i>Le maître d'œuvre sous-sol</i>	5
1.2.3. <i>Capacités techniques</i>	5
1.3. Contexte réglementaire : nomenclature Code de l'Environnement	6
2. Etude des besoins énergétiques	7
2.1. But et utilisation du projet.....	7
2.2. Besoins estimés (puissances).....	8
2.3. Utilisation de la chaleur du sous-sol et des thermies	9
3. Présentation du site	9
3.1. Localisation géographique	9
3.2. Contexte géologique	10
a. Géologie régionale	10
b. Géologie locale	15
3.3. Contexte hydrographique.....	19
3.4. Contexte hydrogéologique	20
4. Généralités sur les travaux envisagés	22
4.1. Réalisation de la sonde verticale.....	22
4.1.1. <i>Généralités</i>	22
4.1.2. <i>Sonde test</i>	22
a. Caractéristiques de la sonde test réalisée à Guipavas.....	23
b. Test de réponse thermique	23
c. Analyse des résultats du test de réponse thermique	24
4.1.3. <i>Dimensionnement</i>	24
a. Principe général	24
b. Rappels sur les COP.....	24
c. Caractéristiques du projet.....	25
4.1.4. <i>Emplacements de la sonde</i>	27
4.1.5. <i>Descriptif de la sonde</i>	30
a. Environnement géologique.....	30
b. Descriptif technique.....	30
c. Coupes techniques prévisionnelles	31
d. Méthode de forage	31

4.1.6. Liaison de surface	37
4.2. Planning et budget prévisionnel du projet	38
4.2.1. Planning prévisionnel	38
4.2.2. Budget prévisionnel.....	38
4.3. Entretien de la sonde et son raccordement.....	38
4.3.1. Moyens et procédures de contrôles	38
4.3.2. Protection des eaux souterraines.....	38
4.3.3. Déclaration des incidents et accidents	38
4.3.4. Inspection périodique de la sonde.....	38
4.4. Prévision des conditions de l'arrêt de l'exploitation	39
5. Analyse des effets sur l'environnement.....	40
5.1. Localisation du site et description de son environnement	40
5.1.1. Localisation	40
5.1.2. Descriptif de l'environnement.....	40
5.1.3. Climatologie	40
5.1.4. Sismicité.....	43
5.1.5. Captages et prélèvements d'eau environnants	44
5.2. Etude d'impact	46
5.2.1. Impacts temporaires liés aux travaux.....	46
a. Les eaux souterraines.....	46
b. Les eaux de surface	46
c. Incidence relative aux hydrocarbures	46
d. Risques naturels et technologiques :	47
e. Les protections réglementaires et zones d'inventaire.....	48
5.2.2. Impacts permanents liés à l'exploitation.....	52
a. Impact de l'exploitation d'une sonde géothermique verticale	52
b. Impact piézométrique	52
c. Impact thermique.....	52
d. Impacts relatifs à la protection des eaux	52
e. Impact visuel	52
f. Impacts sur les milieux protégés	52
g. Impacts sur les risques naturels.....	53
6. Mesures prévues pour supprimer, réduire ou compenser les conséquences dommageables à l'environnement.....	53
7. Compatibilité avec le SDAGE.....	54
8. Compatibilité avec le SAGE du Bas Léon.....	56
9. Document de sécurité et de santé (étude de danger)	57
10. Permis d'exploitation.....	59
11. Arrêt de l'exploitation	60
Références.....	62

Table des figures

FIGURE 1: LOCALISATION DU SITE	7
FIGURE 2: VUE DU SITE	8
FIGURE 3: VUE AERIENNE DU SITE.....	9
FIGURE 4: LOCALISATION CADASTRALE	10
FIGURE 5 : DECOUPAGE DU MASSIF ARMORICAIN BRETON D'APRES CHANTRAINE ET AL 2001	10
FIGURE 6 : CARTE GEOLOGIQUE AU MILLIONIEME DE LA BRETAGNE ET FAILLES ASSOCIEES	12
FIGURE 7 : GEOMORPHOLOGIE DE LA BRETAGNE.....	13
FIGURE 8 : EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE AU 1/1000000	13
FIGURE 9: CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE KERSAINT PLABENNEC.....	14
FIGURE 10: FORAGES AUTOUR DU SITE ETUDIE (BSS)	15
FIGURE 11 : COUPE DU FORAGE 02388X0117	16
FIGURE 12 : COUPE DU FORAGE 02388X0118.....	16
FIGURE 13: COUPE DU FORAGE 02388X0155.....	17
FIGURE 14 : COUPE DU FORAGE 02388X0120.....	18
FIGURE 15 : RESEAU HYDROGRAPHIQUE	19
FIGURE 16 : RESEAU HYDROGRAPHIQUE ZOOM SUR LE SITE ETUDIE	19
FIGURE 17 : BASSIN VERSANT DU PAYS DES ABERS	20
FIGURE 18 : LES DIFFERENTS TYPES D'AQUIFERES EN BRETAGNE	20
FIGURE 19 : SCHEMA CONCEPTUEL DES AQUIFERES DE SOCLE (R.WYNS, 1998 ET 2004).....	21
FIGURE 20 : SONDE COAXIALE	22
FIGURE 21 : DEMANDE DE BASE	25
FIGURE 22 : TEMPERATURE DU FLUIDE LA 25 EME ANNEE.....	27
FIGURE 23 : TEMPERATURES MAX ET MIN SUR 25 ANS.....	27
FIGURE 24: DELIMITATION DU PERMIS DE RECHERCHE	28
FIGURE 25 : IMPLANTATION DE LA SONDE A REALISER	29
FIGURE 26 : COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE DU FORAGE A 300 M.....	30
FIGURE 27: EXEMPLE D'ATELIER DE FORAGE	32
FIGURE 28 : CLICHES PHOTOGRAPHIQUE D'UN CHANTIER DE SONDE GEOTHERMIQUE.....	37
FIGURE 29: DESCRIPTIF DE L'ENVIRONNEMENT AUTOUR DU PROJET.....	40
FIGURE 30 : MOYENNES TEMPERATURES ANNUELLES 1985-2015 - STATION BREST-GUIPAVAS (INFOCLIMAT.FR)	41
FIGURE 31 : REPARTITION MENSUELLE DES PRECIPITATIONS 1985-2015 - STATION BREST-GUIPAVAS (INFOCLIMAT.FR)	41
FIGURE 32 : ROSE DES VENTS STATION DE BREST-GUIPAVAS (METEO-BRETAGNE.FR)	42
FIGURE 33: CARTE DES ZONES DE SISMICITE EN FRANCE	43
FIGURE 34 : ALIMENTATION EN EAU DES COMMUNES DU PROJET PAR LE SYNDICAT DU SPERNEL.....	44
FIGURE 35 : PERIMETRE DE PROTECTION DU CAPTAGE DE PEN AR QUINQUIS	45
FIGURE 36 : RESEAU HYDROGRAPHIQUE	46
FIGURE 37 : EXTRAIT DE LA CARTE BASIAS	48
FIGURE 38 : NATURA 2000 (SERVEUR CARMEN).....	49
FIGURE 39 : LOCALISATION DES ZNIEFF	50
FIGURE 40 : SITES CLASSES ET SITES INSCRITS (SERVEUR CARMEN)	51
FIGURE 41: POSITION DU PERIMETRE	59
FIGURE 42 : COUPE TECHNIQUE DE LA SONDE GEOTHERMIQUE (A GAUCHE : EN EXPLOITATION, A DROITE : REBOUCHEE)	60

Table des tableaux :

TABEAU 1: NOMENCLATURE CODE DE L'ENVIRONNEMENT DU PROJET	6
TABEAU 2 : COUPE GEOLOGIQUE DE LA SONDE TEST DE GUIPAVAS(29)	23
TABEAU 3 : CARACTERISTIQUES PRISES EN COMPTE POUR L'ANALYSE DES RESULTATS.....	23
TABEAU 4 : RESUMES DES RESULTATS DU TEST DE REPOSE THERMIQUE (MEDIATHEQUE GUIPAVAS)	23
TABEAU 5 : VALEURS DE DIMENSIONNEMENT RETENUES SUR LE SITE DE GUIPAVAS.....	23
TABEAU 6: COORDONNEES DE LA ZONE DE RECHERCHE DE GITE GEOTHERMIQUE	28
TABEAU 7 : CHRONOLOGIE ET DESCRIPTION DES TRAVAUX NECESSAIRES A LA REALISATION DE LA SONDE	31
TABEAU 8 : SITES INDUSTRIELS LES PLUS PROCHES	47
TABEAU 9 : CONFRONTATION DU PROJET AUX DIRECTIVES DU SDAGE	55
TABEAU 10 : RISQUES IDENTIFIES ET MESURES RETENUES	58

TABEAU 11: COORDONNEES DES POINTS DU PERIMETRE (LAMBERT 93)	59
---	----

Tables des annexes :

ANNEXE 1 : PLAN MASSE DU SITE	63
ANNEXE 2 : EXTRAIT TEST DE REPOSE THERMIQUE MEDIATHEQUE GUIPAVAS	64
ANNEXE 3 : FICHES TECHNIQUES ATELIER DE FORAGE ET COMPRESSEUR	70
ANNEXE 4 : BILAN COMPTABLE (3 DERNIERS EXERCICES)	74

Introduction

Dans une démarche environnementale, la SCI du Dôme souhaite utiliser le savoir-faire de la Société PRISER, installée sur son terrain, dans le domaine du forage pour mettre en œuvre une solution innovante pour chauffer les bâtiments du site. Elle veut faire appel à l'énergie renouvelable et locale qu'est la géothermie.

La société PRISER a développé ses dernières années une compétence reconnue dans le domaine de la géothermie, c'est pourquoi elle souhaite utiliser à son profit son savoir-faire et a posteriori utiliser cette installation comme vitrine de ces compétences.

Pour atteindre cet objectif, la SCI souhaite que la Société PRISER réalise une sonde géothermique.

Le présent document constitue sous la forme d'un dossier unique les dossiers de demande d'autorisation au titre :

- ✓ du permis de recherche pour une durée de 3 ans,
- ✓ de la réalisation des travaux,
- ✓ d'exploitation pour une durée de 30 ans.

Le présent document reprend notamment les exigences :

- du décret 78-498 du 28/03/78 (recherche et exploitation de ressource géothermique),
- du décret 2006-649 du 02/06/06 (travaux miniers).

Résumé de l'Etude d'Impact

La prise de conscience dans les années 1970 de la nécessité de limiter les dommages à la nature s'est concrétisée par des lois obligeant à réduire les nuisances et pollutions, et à atténuer les impacts des grands projets (ou de projets dépassant un certain coût). Pour ce faire, des études d'impact environnemental sont devenues obligatoires préalablement à la réalisation d'aménagements ou d'ouvrages qui, par l'importance de leurs dimensions ou leurs incidences sur le milieu naturel, pourraient porter atteinte à ce dernier.

L'étude d'impact se présente à la fois comme une procédure administrative et une démarche scientifique préalable destinée à analyser l'insertion du projet dans l'ensemble des composantes de l'environnement (eau, air, sol, plantes et animaux). Elle permet d'analyser les effets directs et indirects, immédiats et lointains, individuels et collectifs du projet sur l'environnement. Le contenu de l'étude d'impact est proportionné à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet, à l'importance et à la nature des travaux, ouvrages et aménagements projetés et à leurs incidences prévisibles sur l'environnement ou la santé humaine (article R. 122-5 du décret 2011-2019).

L'étude d'impact environnemental est un outil mis à la disposition du maître d'ouvrage public ou privé pour concevoir un projet respectueux de l'environnement. Elle doit donc commencer très en amont du dit projet, au stade de l'esquisse technique et continuer pendant toute la phase d'élaboration.

L'étude d'impact environnemental est également un outil d'information au service de l'autorité compétente pour instruire la demande d'autorisation et décider en toute connaissance de cause.

Enfin, l'étude d'impact environnemental contribue à l'information du public. En tant que telle, elle facilite la participation de ce même public. L'étude d'impact est ainsi jointe aux dossiers de demande d'autorisation de recherche et d'ouverture de travaux exploratoires sur lesquels le public est invité à réagir, présenter ses observations, ses remarques ou ses contre-propositions.

Depuis le 1er juin 2012, tout projet dont le dossier de demande d'autorisation, d'approbation ou d'exécution est déposé auprès de l'autorité compétente doit appliquer les dispositions du décret n°2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements.

Le droit des études d'impact est régi par les articles L. 122-1 à L. 122-3 et R. 122-1 à R. 122- 16 du Code de l'Environnement. L'article R. 122-1 du Code de l'Environnement prévoit que les études d'impact environnemental préalables à la réalisation de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements prescrites par la présente section sont réalisées sous la responsabilité du pétitionnaire ou du maître d'ouvrage (article R. 122-1 du décret 2011-2019).

Dans ce contexte, Le paragraphe Etude d'Impact présente l'étude d'impact environnemental et sur la santé humaine du projet de géothermie.

Cette étude va par conséquent:

- décrire l'état initial du site d'implantation de la sonde géothermique à réaliser et de son environnement,
- recenser les impacts des travaux sur l'environnement et l'organisation de chantier de moindre impact, en intégrant les observations effectuées lors de l'état initial ainsi que les contraintes techniques, économiques et géologiques,

- évaluer les effets permanents engendrés par le projet sur le milieu physique, naturel et humain, qu'ils soient positifs ou négatifs et présenter les mesures envisagées pour supprimer, limiter et si possible compenser les effets négatifs.

Dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement et la santé humaine du projet de géothermie, les forages sont autorisés par la DREAL sous certaines réserves, précautions et obligations :

- Spécifications des forages : les procédures de réalisation des forages géothermiques ainsi que les matériaux et équipement utilisés devront être adaptés aux objectifs de préservation et de protection de la ressource,
- Procédures de contrôles et de suivi : il s'agira de définir le suivi périodique de l'exploitation, la mise en place de contrôles adaptés et les procédures d'entretien des puits afin d'assurer la sécurité des nappes.

Le projet présenté consiste à réaliser une sonde géothermique profonde.

Contexte réglementaire du projet :

Compte tenu du contexte réglementaire et dans le respect du Code Minier, un dossier réglementaire comprenant une demande de permis de recherche d'un gîte géothermique basse température et une demande d'ouverture de travaux de forage sur la commune de Kersaint Plabennec est déposé par le maître d'ouvrage en préfecture. Le périmètre du permis de recherche sollicité porte sur la seule commune de Kersaint Plabennec.

Conformément à la réglementation, ces demandes sont accompagnées d'une étude d'impact environnemental du projet concernant la phase des travaux et la phase d'exploitation.

Etat initial des sites de forage Description de l'environnement du projet :

Le site d'implantation du chantier de forage est situé au droit de l'entreprise de forages Priser situé sur la commune de Kersaint Plabennec.

Le site, sans dénivelé, correspond aux locaux de l'entreprise PRISER comportant des locaux (bureaux et entrepôts) ainsi qu'une aire de stockage (matériel de forage, tubages,...).

L'environnement sonore aux alentours du futur site d'implantation de la sonde géothermique est relativement important du fait de sa proximité de la RN12.

Dans un rayon de 50 m de la sonde géothermique, il n'existe pas de parcelle comprenant des habitations concernées par le projet. Selon l'article L.153-2 du Code Minier, le maître d'ouvrage n'aura pas besoin d'obtenir le consentement des propriétaires de ces terrains pour pouvoir forer l'ouvrage.

Le site de forage n'appartient pas à :

- ✓ un parc naturel régional,
- ✓ une réserve naturelle,
- ✓ une zone d'intérêt communautaire pour la protection des oiseaux (ZICO),
- ✓ une zone Natura 2000 (réseau européen de sites naturels ou semi-naturels ayant une grande valeur patrimoniale, par la faune et la flore exceptionnelle qu'ils contiennent),
- ✓ une Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF).

Le site d'implantation de la sonde géothermique ne fait pas l'objet d'un arrêté de protection du biotope.

Risques industriels :

Aucun site et sol pollué inventorié dans les bases de données BASOL et BASIAS n'est présent à proximité immédiate du projet.

Risques naturels :

Le site n'est pas concerné par des risques d'inondation.

Protection du patrimoine :

Le site de forage n'est pas soumis à la servitude liée à la protection du patrimoine.

Recensement des impacts des travaux de forage et de l'exploitation du gîte géothermique :

Lors du chantier, l'impact visuel ne sera pas perceptible dans la mesure où l'ouvrage sera réalisé dans un entrepôt fermé et couvert. Les installations étant souterraine, il n'existera pas d'impact visuel durant l'exploitation.

Pour ce qui concerne l'environnement sonore, les travaux seront réalisés en journée (aucun travail de nuit), les nuisances sonores ne seront pas perceptibles à l'extérieur du site. Les installations étant souterraine, il n'existera pas d'impact sonore durant l'exploitation.

La réalisation et l'exploitation de la sonde géothermique se feront sans nuisances olfactive.

Concernant la circulation routière, l'augmentation du trafic sera minimale (livraison des équipements). Les opérations de maintenance n'engendreront pas ou peu d'impact sur la circulation routière.

L'accès au chantier sera interdit au public.

Le risque concernant le sous-sol est la possible contamination des terrains aquifères au cours des travaux de forage et de l'exploitation. Les mesures prévues pour supprimer, réduire ou éviter la survenue d'un tel accident interviennent à trois niveaux :

- à la conception de l'ouvrage,
- lors de la réalisation de l'ouvrage,
- durant l'exploitation.

Toutes les précautions seront prises lors de la foration pour éviter tout risque de pollution de la nappe : stockage du carburant dans cuve double paroi ou avec cuvette de rétention.

Les déchets et effluents produits pendant les travaux sont de plusieurs types : cuttings, déchets industriels banals. Le traitement de chaque catégorie de déchets se fera dans le respect de l'environnement et des règles en vigueur afin de supprimer tout impact nuisible du chantier.

Compte tenu des éléments précités et de la distance entre le chantier et les espaces naturels protégés (ZNIEFF, Natura 2000 etc.), il apparaît qu'il n'y aura pas d'impact des travaux sur ces espaces. Le site Natura 2000 le plus proche est situé à plus de 4,4 km du projet. Les méthodes de forage mises en œuvre, la conception et la réalisation de la sonde géothermique, les mesures prises lors du chantier n'induisent aucun impact sur les sites Natura 2000 lors de la réalisation des forages. En outre, l'exploitation du gîte géothermique, consistant à exploiter la ressource thermique en circuit fermé, se fera sans nuisances sonore et olfactive, sans nuisance sur les eaux superficielles et souterraines, comme le montre l'étude d'impact présentée.

1. Renseignements généraux

1.1. Renseignements sur le demandeur

Demandeur :	SCI du Dôme Zone de PEN AR FOREST 29860 KERSAINT PLABENNEC Tél. : 02 98 40 17 89
	SIRET : 50980081900013 Gérant : Monsieur Serge PRISER,
Rédacteur du dossier:	G²H Conseils 28, rue Blanche Hottinguer 77600 GUERMANTES Tél. : 01 64 30 47 81

1.2. Justification des capacités techniques et financières

1.2.1. Le maître d'ouvrage

La SCI du Dôme, société civile immobilière, représentée par son gérant Monsieur Serge PRISER, au capital de 1000 euros.

1.2.2. Le maître d'œuvre sous-sol

Pour la partie sous-sol, la SCI du Dôme s'est adjoint les compétences de G²H Conseils, bureau d'études géologiques qui possède une grande expérience en matière de géothermie et de forages.

1.2.3. Capacités techniques

La SCI est propriétaire du terrain à Kersaint Plabennec près de BREST (Finistère, France), de plus de deux hectares sur lequel est implanté la **Société PRISER Forages et Fondations de l'Ouest** que Monsieur Serge PRISER dirige.

La Société PRISER a été fondée en 1965 par Louis PRISER. Elle s'est imposée progressivement comme **spécialiste** de tous les travaux de construction relatifs à la mécanique des sols.

Dès 1985, son fils Serge rejoint l'entreprise. Il dirige désormais l'entreprise. Conscients très tôt des défis à relever, la société, au fil des années, a su s'adapter et s'entourer des compétences requises pour répondre aux besoins techniques et économiques de ses clients et intégrer un bureau d'études.

Les compétences de l'entreprise s'articulent aujourd'hui autour de plusieurs axes liés aux domaines des travaux de construction et du génie civil ainsi qu'aux technologies du sol, **et à l'exploitation des ressources de celui-ci (forages d'eau, géothermie,...).**

1.3. Contexte réglementaire : nomenclature Code de l'Environnement

Voici la nomenclature encadrant le présent projet:

Nomenclature :	Descriptif :
5.1.2.0	Travaux de recherche et d'exploitation de gîtes géothermiques : autorisation

Tableau 1: Nomenclature Code de l'Environnement du projet.

2. Etude des besoins énergétiques

2.1. But et utilisation du projet

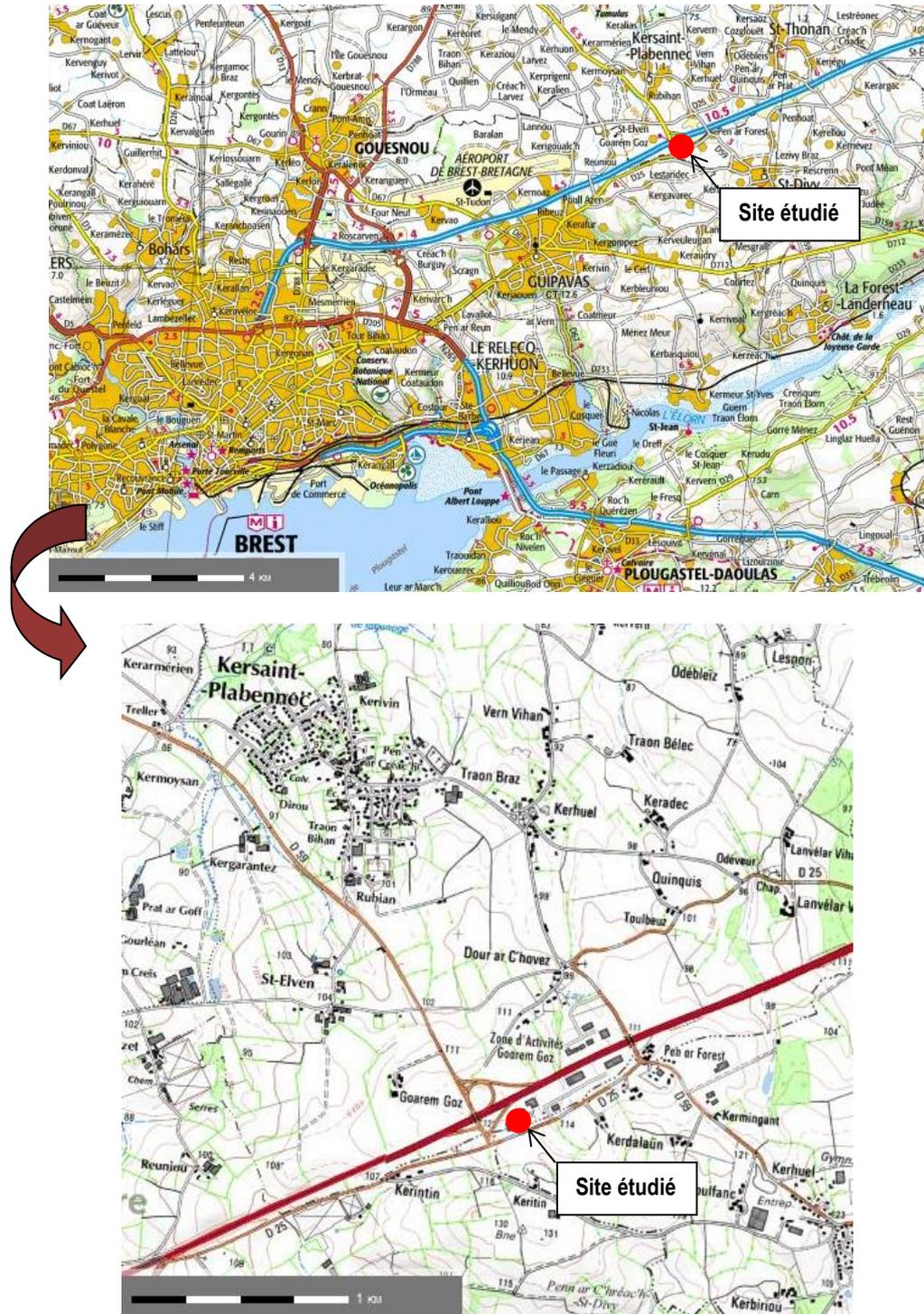


Figure 1: localisation du site

La **SCI du Dôme** dispose sur le site de Kersaint de bâtiments techniques (site de maintenance du matériel, entreposage,...) ainsi qu'un bâtiment administratif de 370 m².



Figure 2: Vue du site.

Le chauffage, la climatisation et la fourniture d'eau chaude du bâtiment administratif sont envisagés dans projet.

Jusqu'à présent le bâtiment administratif était chauffé par une pompe à chaleur sur nappe avec une efficacité très relative et un bilan énergétique mauvais qui a conduit à son abandon après une panne récente. Il dispose donc d'installations adaptées (plancher chauffant) pour la géothermie.

La nouvelle installation nécessitera l'installation d'une nouvelle PAC mais les installations de distribution pourront être conservées.

Enfin, **La SCI du Dôme** envisage d'ajouter un étage à son bâtiment.

2.2. Besoins estimés (puissances)

Les besoins annuels sont estimés à 40 000 MWh. Il a donc été retenu une consommation annuelle de 40 000 MWh.

La puissance crête nécessaire, selon le mode de distribution retenu, est de 30 kW.

Au vu de la situation, les besoins estimés nécessitent une puissance qu'une sonde géothermique verticale profonde pourrait fournir (confirmation par modélisation).

2.3. Utilisation de la chaleur du sous-sol et des thermies

La chaleur du sous-sol récupérée à partir d'une sonde de 300 m assurera la couverture des besoins énergétiques à 100%.

3. Présentation du site

3.1. Localisation géographique

Le site se situe dans la Finistère à l'Est de Brest, sur la commune de Kersaint Plabennec.

Plus précisément, dans le Sud de la commune de Kersaint Plabennec, au Sud de la N 12 (E 50) il fait partie de la Zone d'Activités de Pen ar Forest.



Figure 3: Vue aérienne du site.

Le terrain est situé principalement sur la commune de Kersaint Plabennec mais une petite partie est sur la commune de Saint Divy.

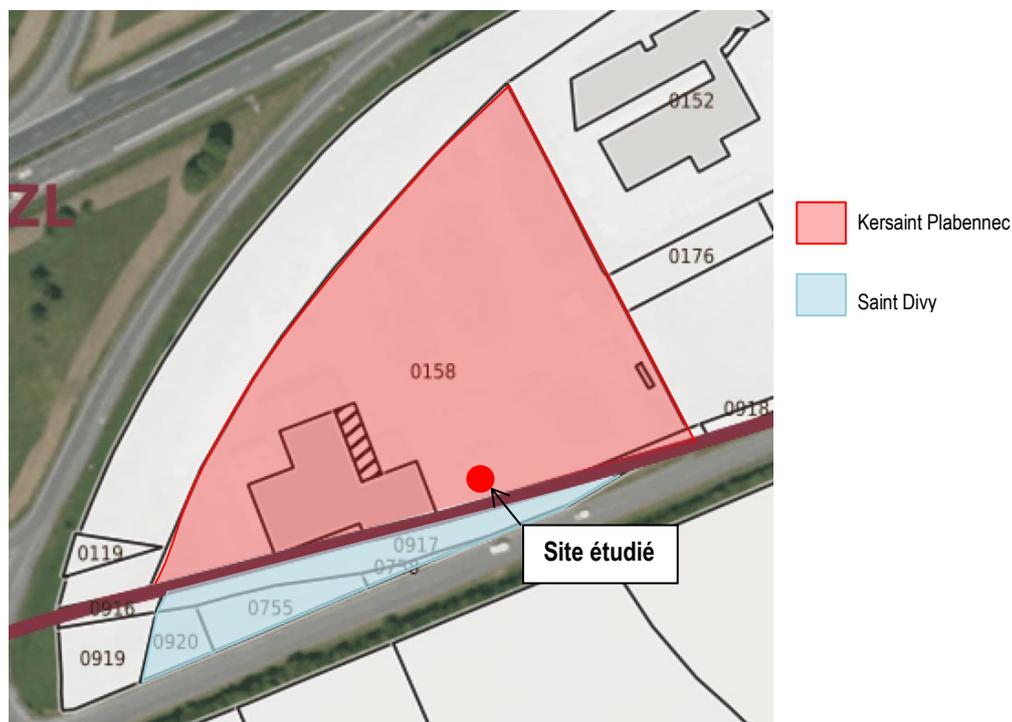


Figure 4: Localisation cadastrale.

3.2. Contexte géologique

a. Géologie régionale

Le massif armoricain pour la région Bretagne peut être découpé en **neuf grands domaines géologiques**, ces neuf grands domaines géologiques apparaissent sur l'illustration ci-dessous.

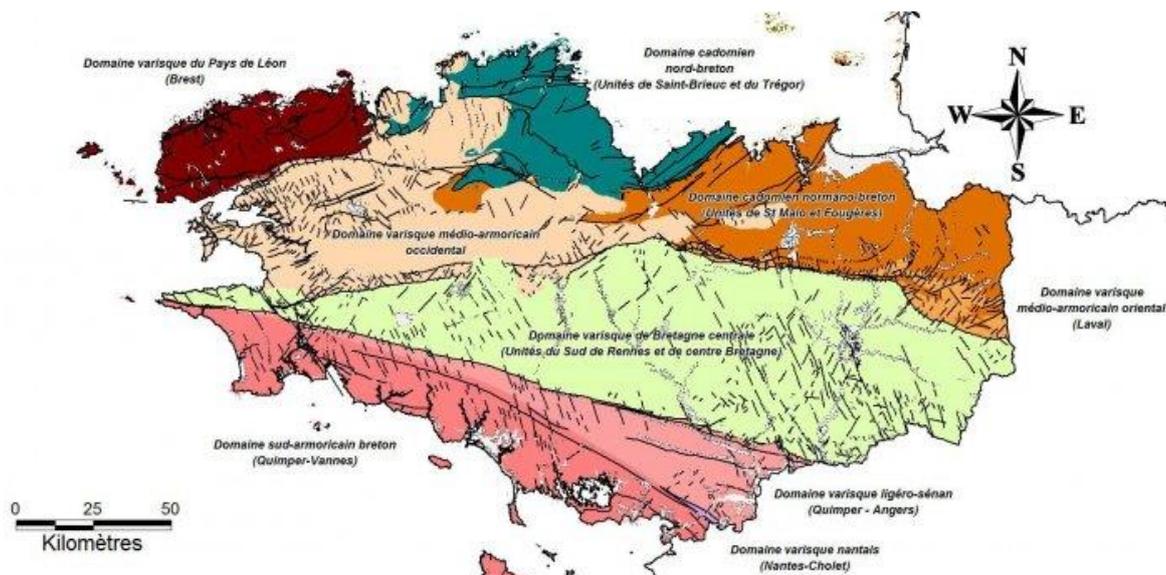


Figure 5 : Découpage du massif armoricain breton d'après Chantraine et al 2001

D'Ouest en Est et du Nord au Sud, on trouve :

- le domaine varisque du Pays de Léon ;
- le domaine cadomien nord-breton ;
- le domaine cadomien normano-breton ;
- le domaine varisque médio-armoricain occidental ;
- le domaine varisque médio-armoricain oriental ;
- le domaine varisque de Bretagne centrale ;
- le domaine varisque ligéro-sénaise ;
- le domaine varisque nantais
- et enfin le domaine sud-armoricain breton.

On retrouve, à travers les noms donnés à ces domaines géologiques, l'histoire géologique du massif armoricain qui est la **superposition de deux évènements orogéniques** (c'est-à-dire de deux chaînes de montagne). Ainsi au nord des Côtes d'Armor et de l'Ille-et-Vilaine, les roches appartiennent à l'ancienne chaîne de montagne dite « **cadomienne** » avec ces deux domaines, en vert, à l'Ouest : le domaine cadomien nord-breton et à l'Est, en orangé : le domaine cadomien normano-breton ou encore appelé « mancelien ». La chaîne cadomienne a été active entre 750 et 520 millions d'années environ. Les autres domaines sont eux principalement des domaines sur lesquels la fameuse ancienne chaîne de montagne « **hercynienne** » ou « **varisque** » pour les spécialistes, est venue imprimer sa marque. Elle a été active entre 360 et 300 millions d'années environ.

La formation d'une chaîne de montagne se fait sous un régime tectonique compressif, qui correspond au rapprochement de deux masses continentales. Le rapprochement de ces deux continents, séparés par un océan, entraîne la disparition de celui-ci. Mais entre ces deux compressions cadomiennes et hercyniennes, que s'est-il passé ? Et bien il y a eu après la période cadomienne, un épisode qui s'oppose à la compression et qui a été « extensif ». D'environ, 500 à 360 millions d'années, il y a eu la création de bassins sédimentaires, résultat de l'extension (c'est-à-dire de l'étirement de la croûte continentale) et le dépôt dans ces bassins, de conglomérats, grès et d'argiles jusqu'à des calcaires.

L'histoire géologique cadomienne et hercynienne

Les domaines cadomiens nord-breton et normano-breton

Au nord du Cisaillement Nord Armoricain (CNA), la déformation date pour l'essentiel de l'histoire orogénique cadomienne (de 750 millions d'années à 540 millions d'années).

A une collision continentale succède une période de subduction océanique vers le sud-est. Les structures tectoniques (c'est-à-dire les failles) de direction N40°-N50° vont enregistrer un raccourcissement oblique, orienté environ NNE-SSW (Brun et al., 2001).

L'arc volcanique et le bassin arrière arc, construits lors de cette phase de subduction, vont chevaucher une marge continentale vers le Sud-Est, entraînant un métamorphisme (transformation des roches) à haute température et basse pression.

La fin de l'histoire cadomienne est marquée dans la partie Est de ces domaines, par le dépôt d'une épaisse série sédimentaire conséquence de l'érosion rapide de la chaîne cadomienne (les schistes du Briovérien). Pour clôturer le tout, se mettent en place des granites qui scellent à 540 millions d'années la fin de la déformation du Domaine Cadomien (Graviou et al., 1988).

Repris dans la collision hercynienne, ce socle cadomien se comportera comme un bloc résistant, encaissant des déformations cassantes, concentrées le long des failles héritées.

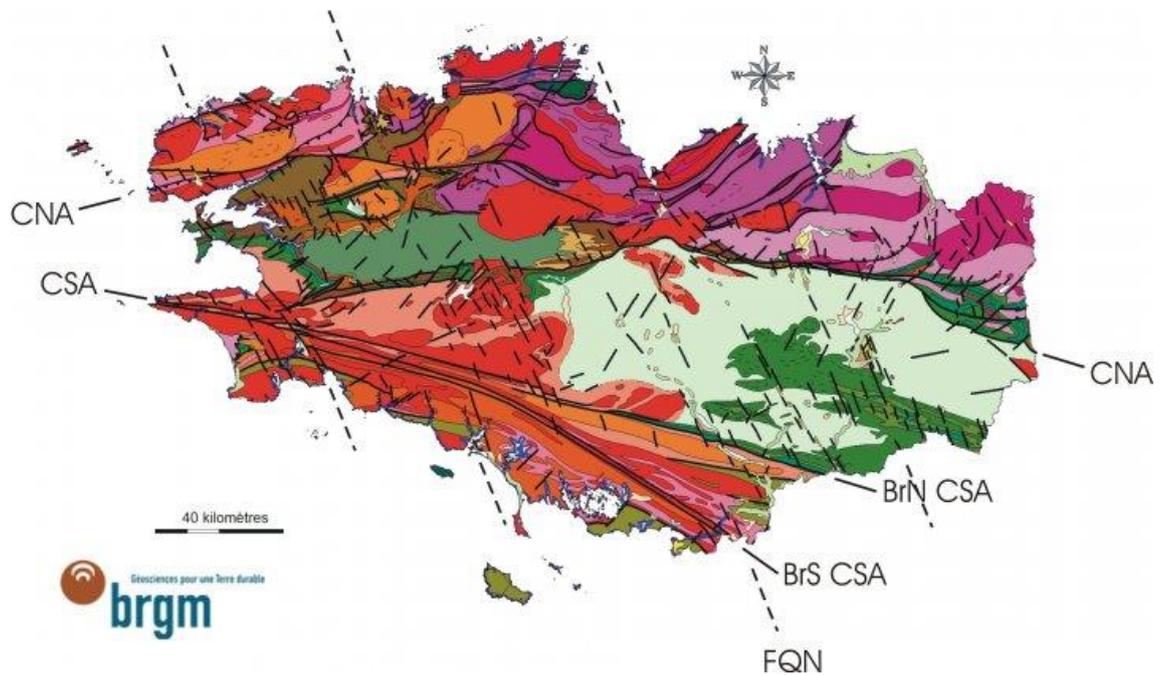


Figure 6 : Carte géologique au millionième de la Bretagne et failles associées

Le domaine varisque du Pays de Léon

Son histoire se rapproche de celle des domaines sud-armoricains, où dans cette hypothèse, le Léon correspondrait à un bloc exotique d'affinité sud-armoricaine qui à la limite Dévonien-Carbonifère (345 millions d'années environ), se serait juxtaposé à l'Armorique, le long d'une zone de failles ductile, décrochante et dextre, mais cette hypothèse est encore débattue.

Il correspond à la mise en place de roches métamorphiques sous la forme de nappes chevauchantes, incorporant des reliques d'éclogites (métabasites de Lesneven), datées à 440 million d'années. L'intensité de la déformation, atteint un métamorphisme (transformation des roches originelles), allant jusqu'à localement l'anatexie (c'est-à-dire la fusion des roches comme à Tréglonou, Plounévez-Lochrist, Plouguerneau) et datée autour de 380 millions d'années. Enfin cet ensemble subit la mise en place des granites d'âge carbonifère (300 millions d'années environ) et le fonctionnement de zones de cisaillement ductiles décrochantes (dans Cagnard F., 2008).

L'architecture géomorphologique de la Bretagne est donc le résultat combiné de ces deux cycles orogéniques (chaînes de montagnes), que sont la chaîne cadomienne (620 millions d'années) et la chaîne hercynienne (360 millions d'années), mais aussi l'œuvre de l'érosion et de l'altération qui n'ont pas eu les mêmes effets et intensités en fonction de la résistance des différentes formations. Ainsi on retrouve l'empreinte géomorphologique de certains granites comme celui cadomien de Bonnemain mais aussi les traces des grandes failles (CNA, CSA, BrNCSA et BrSCSA) et des roches déformées qui leurs sont associées (Landes de Lanvaux notamment).

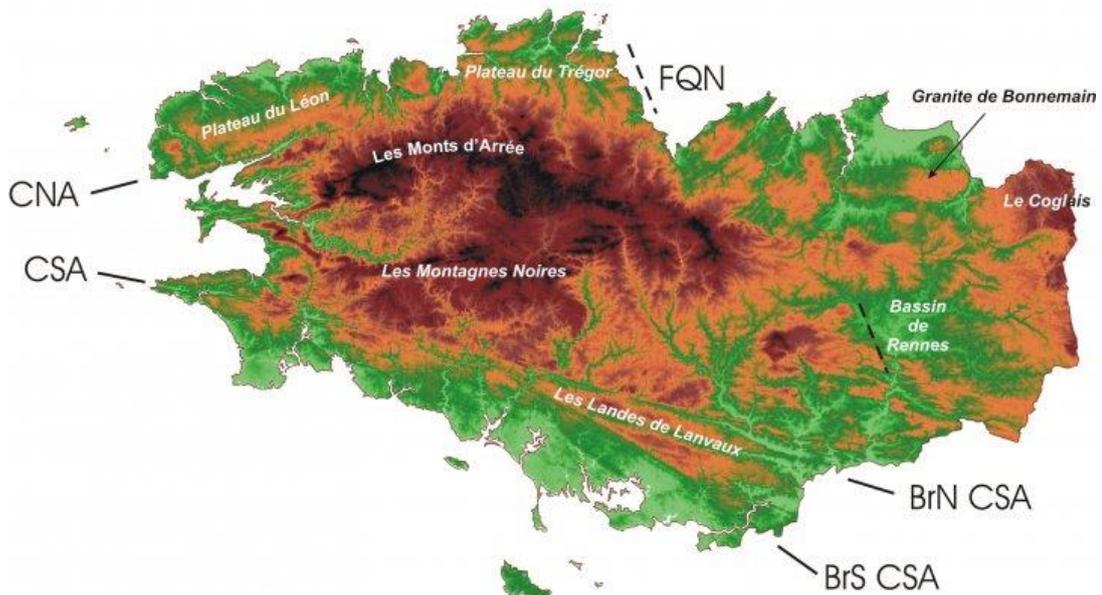


Figure 7 : Géomorphologie de la Bretagne

Kersaint Plabennec est situé dans le Finistère au sein du massif Armoricain, et plus précisément au Sud du **Pays du Léon** d'altitude moyenne de 100 m, dont les massifs granitiques constituent les hauts topographiques.

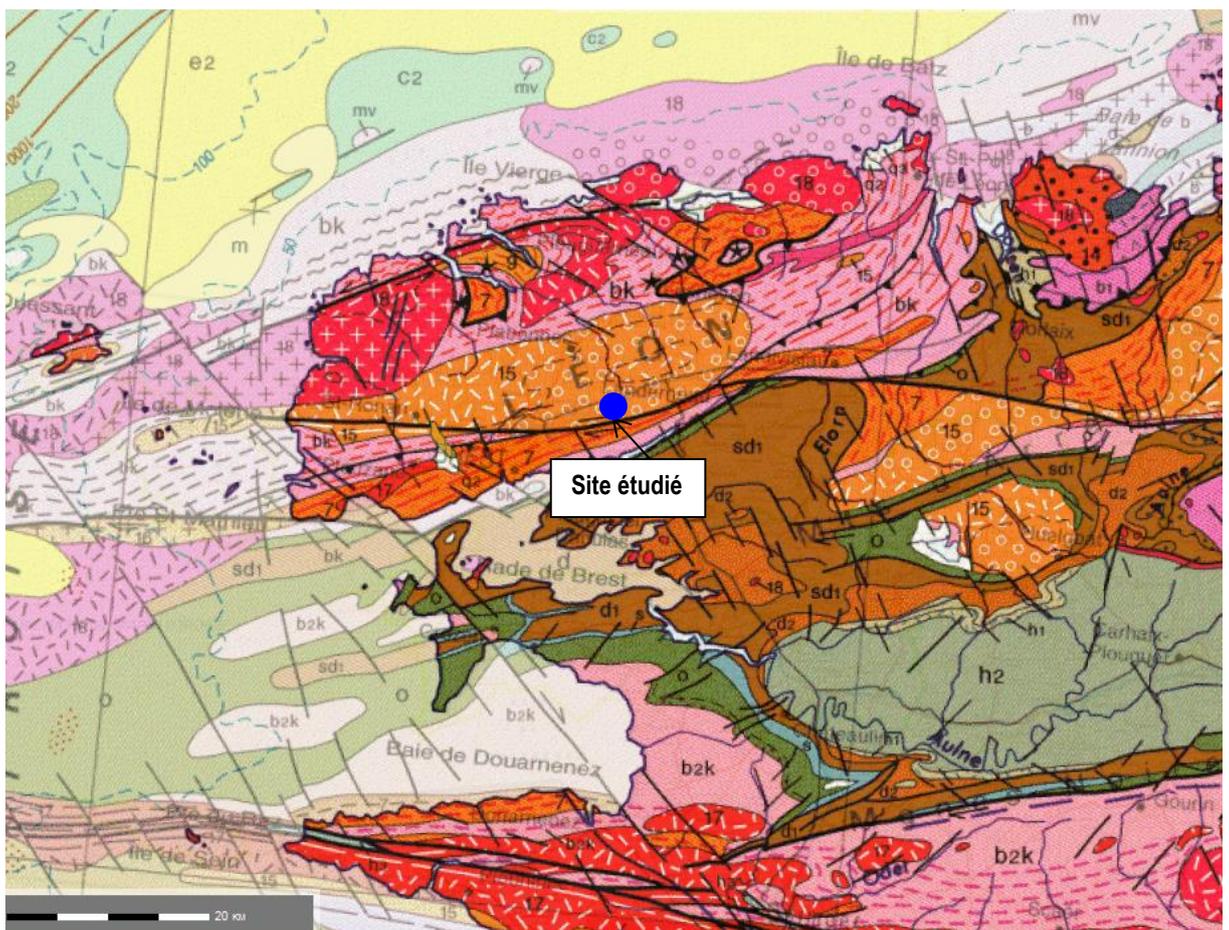


Figure 8 : extrait de la Carte géologique au 1/100000

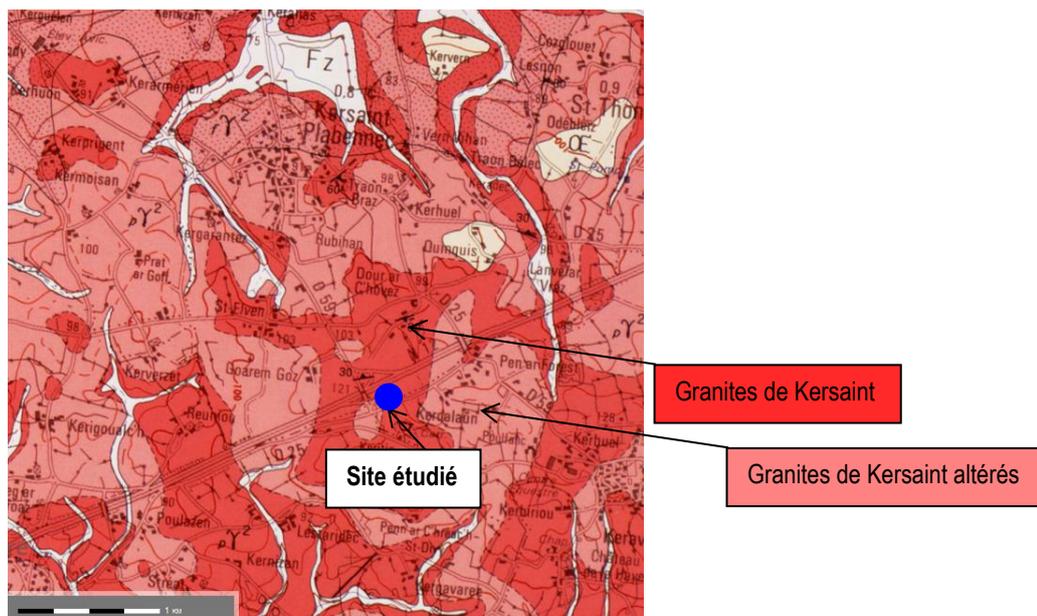


Figure 9: Carte géologique de la région de Kersaint Plabennec

b. Géologie locale

Le contexte géologique local peut être appréhendé avec les ouvrages du site ou voisins du site recensés à la Banque du sous-sol (BSS):

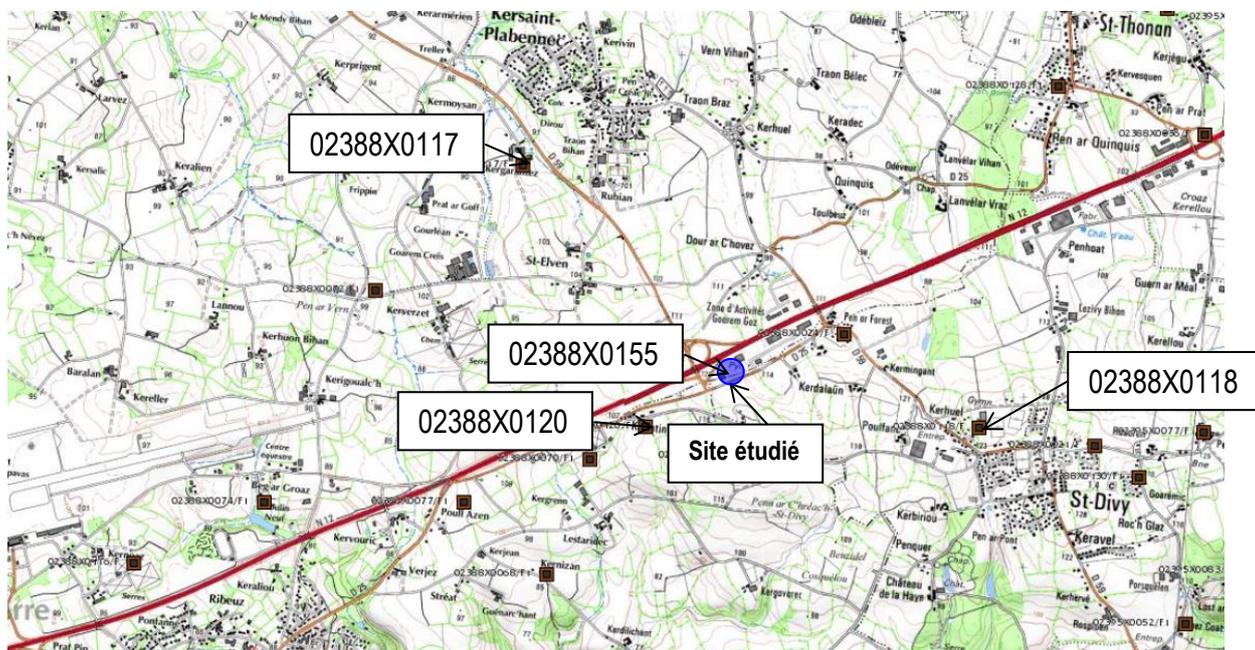


Figure 10: Forages autour du site étudié (BSS)

Le forage 02388X0117, à 91 m NGF présente la coupe géologique suivante :

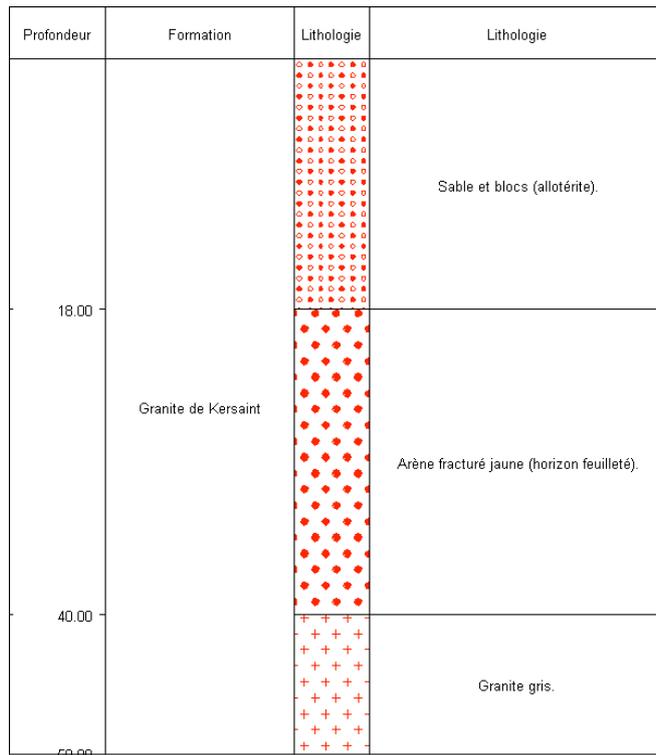


Figure 11 : Coupe du forage 02388X0117

Le forage 02388X0118, à 127,50 m NGF présente la coupe géologique suivante :

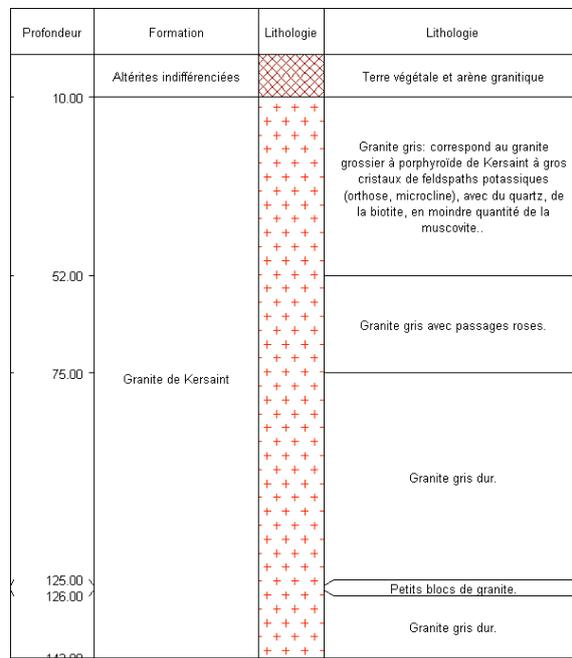


Figure 12 : Coupe du forage 02388X0118

Le forage 02388X0155, réalisé sur le site situé à 120 m NGF présente la coupe géologique suivante :

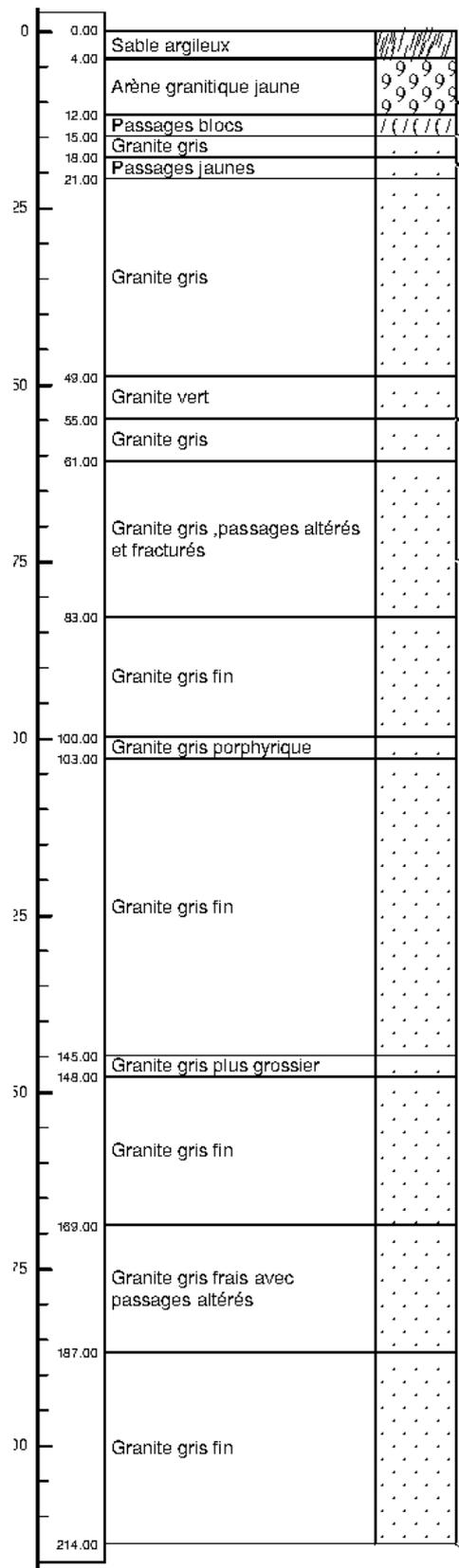


Figure 13: Coupe du forage 02388X0155

Le forage 02388X0120, à 110 m NGF présente la coupe géologique suivante :

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
4.00	Granite de Kersaint		Sable (allotérite).		106.00
			Arène granitique jaune (consolidée ?) (horizon feuilleté).		
34.00			Granite gris souple.	Carbonifère inférieur	76.00
70.00					40.00

Figure 14 : Coupe du forage 02388X0120

A partir de ces différentes coupes, la géologie de la zone apparaît comme étant principalement granitique. Les premiers mètres sont constitués de formations altérées et de sables.

3.3. Contexte hydrographique



Figure 15 : réseau hydrographique

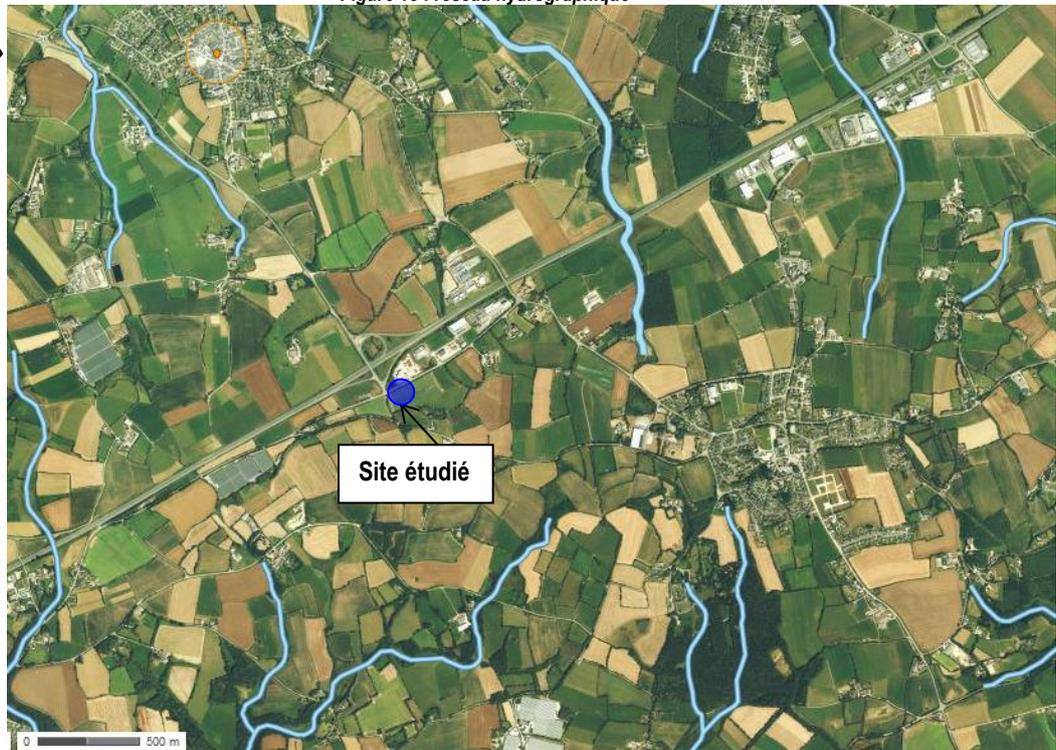


Figure 16 : réseau hydrographique zoom sur le site étudié



Figure 17 : bassin versant du Pays des Abers

3.4. Contexte hydrogéologique

Le sous-sol de la Bretagne est majoritairement constitué de roches dures anciennes dites *de socle*.

En Bretagne, il n'existe pas de grands aquifères, mais une mosaïque de petits systèmes imbriqués (la surface au sol de chacun d'eux n'excède pas en général quelques dizaines d'hectares), indépendants les uns des autres, du moins dans les conditions actuelles des exploitations qui en sont faites.

En complément de ces aquifères de socle, il existe également des aquifères alluviaux et des aquifères sédimentaires localisés dans de petits bassins d'âge tertiaire.

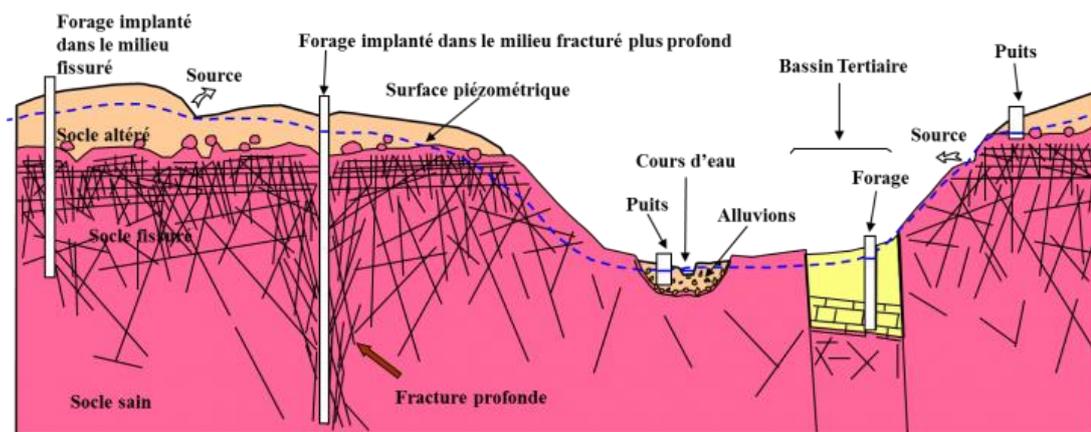


Figure 18 : Les différents types d'aquifères en Bretagne

Un système aquifère, c'est à la fois un **réservoir** capable d'emmagasiner des volumes plus ou moins importants d'eau provenant des pluies infiltrées, et un **conducteur** permettant les écoulements souterrains et la vidange progressive du réservoir vers ses exutoires naturels que sont les rivières.

En milieu de socle, les deux fonctions sont le plus souvent séparées :

- le rôle de réservoir (fonction capacitive : emmagasinement de l'eau de pluie) est assuré principalement par l'altération de la roche en place (les « altérites » sur l'illustration ci-dessous), à porosité importante et faible perméabilité, développée depuis la surface sur, parfois, plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur,
- tandis que l'eau circule surtout par le réseau de fissures et fractures existant plus bas (fonctions capacitive et transmissive), dans la roche saine ou moins atteinte par l'altération « horizon fissuré » sur l'illustration, à porosité plus faible mais cependant significative (1 à 5 %) et à perméabilité plus importante (10-4 à 10-6 m/s)).

En Bretagne les eaux souterraines sont donc situées au sein de deux aquifères superposés et en contact permanent : celui des altérites et celui du milieu fissuré.

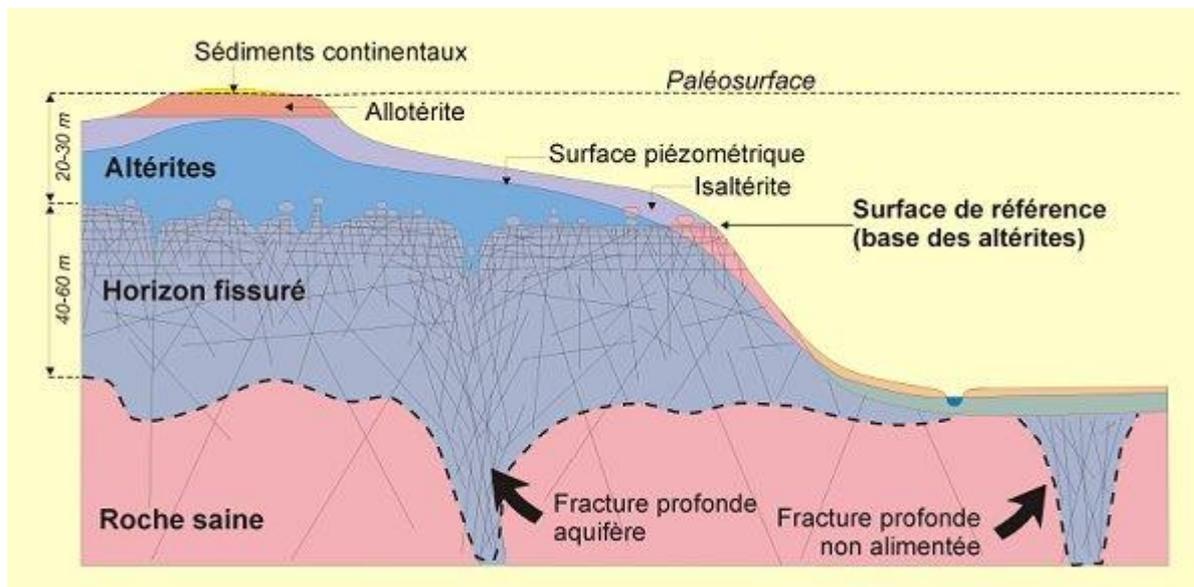


Figure 19 : Schéma conceptuel des aquifères de socle (R.Wyns, 1998 et 2004)

En conclusion, les ressources en eau dans le sous-sol sont relativement limitées. La productivité des forages est liée au degré de fracturation des granites.

C'est pourquoi la solution sonde géothermique a été choisie.

4. Généralités sur les travaux envisagés

Pour répondre aux besoins exprimés, il a donc été décidé la réalisation d'une sonde géothermique verticale.

4.1. Réalisation de la sonde verticale

4.1.1. Généralités

La solution retenue consiste en la réalisation d'une sonde géothermique verticale.

Il s'agit d'un forage équipé d'une sonde coaxiale mise en place à l'intérieur de l'ouvrage entourée d'un coulis de ciment.

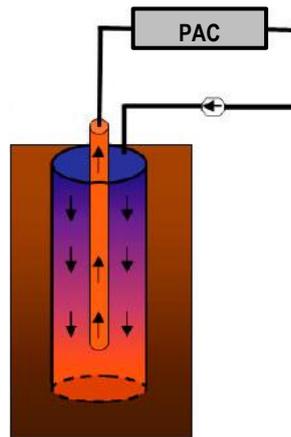


Figure 20 :sonde coaxiale

Le fluide circulant dans la sonde récupère la chaleur du sous-sol. Il n'y a donc pas de prélèvement d'eau.

La puissance fournie par la SGV (sonde géothermique verticale) est fonction de :

- ↪ La nature lithologique des terrains traversés
- ↪ La présence ou non d'aquifère
- ↪ La profondeur de la sonde

4.1.2. Sonde test

Afin de vérifier et de préciser les puissances extractibles, la réalisation d'une sonde test est généralement mise en œuvre dans le cas de la création d'un champ de sondes. Dans le cas présent, une seule sonde sera réalisée.

De plus, nous avons vu précédemment que la géologie régionale est assez homogène c'est pourquoi nous allons nous baser sur le test réalisé lors d'un chantier non loin du projet.

La commune de GUIPAVAS, lors de la construction de la médiathèque AWENA a réalisé un champ de sondes et pour cela a fait réaliser par la société Swiss Geo Testing Sàrl, en avril 2013, un test de réponse thermique (annexe 1). Ce test nous a permis de déterminer précisément les caractéristiques de la sonde à réaliser.

a. Caractéristiques de la sonde test réalisée à Guipavas

Un forage de 100 m de profondeur a été réalisé par l'entreprise Priser Forages. La coupe schématique du terrain au droit du forage a été la suivante :

Profondeur	Epaisseur	Lithologie
0 – 7 m	7 m	Arène (sable granitique)
7 – 25 m	18 m	Arène granitique (Granite altéré)
25 – 100 m	75 m	Granite gris compact

Tableau 2 : coupe géologique de la sonde test de Guipavas(29)

Une sonde test, sonde géothermique type double U, a été descendue par l'entreprise Priser. Dans le tableau ci-dessous sont reprises ses caractéristiques issues du rapport :

Profondeur du forage	100 m
Diamètre moyen du forage	0,137 m
Longueur de la sonde	100 m
Type de sonde	Double U
Tube	Polyéthylène (PEHD) bleu
Diamètre externe tube	32mm
Epaisseur paroi tube	2,9mm
Matériau de remplissage	Coulis de Füllbinder (1570 l)
Fluide caloporteur lors du test	Eau
Débit moyen lors du test	880 litres/h

Tableau 3 : caractéristiques prises en compte pour l'analyse des résultats

b. Test de réponse thermique

Les résultats du test de réponse thermique réalisé par Swiss Geo Testing Sàrl, issus de leur rapport, sont résumés ci-dessous :

	Sonde SGV
Température moyenne initiale de la couche de terrain	$12,7 \pm 0,2$ °C
Conductibilité thermique moyenne λ	$2,82 \pm 0,12$ W/m.K
Résistance thermique effective de la sonde dans les conditions du test et pour un \varnothing moyen de 137 mm	$0,09 \pm 0,01$ K/W.m ⁻¹

Tableau 4 : Résumé des résultats du test de réponse thermique (Médiathèque GUIPAVAS)

Suite à ce test les valeurs de dimensionnement retenues pour le site de Guipavas ont été les suivantes :

	Sonde SGV
Conductibilité thermique de dimensionnement :	$\lambda=2,70$ W/m.K
Température initiale du terrain :	$T_i=12,7$ °C
Résistance thermique effective moyenne :	$0,09$ K/W.m ⁻¹

Tableau 5 : Valeurs de dimensionnement retenues sur le site de Guipavas

c. Analyse des résultats du test de réponse thermique

Géothermie :

La conductivité thermique caractérise la capacité d'échange thermique du sous-sol. Elle conditionne donc la longueur totale de forage à réaliser pour obtenir une puissance d'échange donnée : plus la conductivité est élevée, plus la puissance d'échange par mètre linéaire de sonde sera élevée.

La conductivité thermique apparente moyenne mesurée est de 2,7 W/m.K, ce qui est bon.

Qualité de la Sonde :

La résistance thermique de la sonde lie de manière asymptotique les niveaux de température du fluide (T_{fluide}) et du terrain (T_{forage}) à la quantité d'énergie injectée par mètre linéaire (q, en W/m) de sonde :

$$T_{\text{fluide}} \sim T_{\text{forage}} + q \times R_b \Rightarrow q \sim (T_{\text{fluide}} - T_{\text{forage}})/R_b$$

Une sonde de bonne qualité a une résistance aussi faible que possible.

La résistance thermique moyenne de la sonde est de 0,09 K/W.m⁻¹, ce qui est un très bon résultat pour une sonde de cette profondeur (100 m).

4.1.3. Dimensionnement

Le dimensionnement de la sonde verticale à réaliser est basé d'une part sur les données de consommation annuelle, ainsi que sur les mesures effectuées lors du test de réponse thermique de la Médiathèque de Guipavas.

a. Principe général

Le dimensionnement de l'installation est conditionné par trois facteurs essentiels :

- **les appels de puissance calorifique** du bâtiment sur le système géothermique et leur répartition dans le temps (i.e. Consommation annuelle),
- **les caractéristiques géothermiques** du site.

On suppose que les groupes de transferts thermodynamiques développent un COP moyen de 4 en chauffage. Cette valeur servira à évaluer les puissances extraites de la sonde à réaliser.

On évalue ainsi le potentiel de production qui est présenté par la suite, au regard de la stabilité du fonctionnement du système dans le temps.

b. Rappels sur les COP

Afin de permettre au lecteur de comprendre les principes mis en œuvre, on présente succinctement les caractéristiques des groupes de transferts.

Un groupe de transfert thermodynamique permet un échange de chaleur entre un circuit condenseur et un circuit évaporateur intégrés au groupe. Les circuits sont parcourus par les fluides caloporteurs, l'un alimentant le consommateur (le bâtiment), l'autre alimentant la source (le champ de sondes). Le groupe est caractérisé par :

- La puissance calorifique au condenseur **P_{calo}** (en W), elle est donnée par la relation :

$$P_{\text{calo}} = Q_{\text{cond}} \times C_p \times \Delta T_{\text{cond}}$$

Q_{cond} étant le débit (kg/s) coté condenseur,

C_p (J/kg.K) la chaleur spécifique du fluide utilisé au condenseur,

ΔT_{cond} (K) la différence de température du fluide entre l'entrée et la sortie du condenseur.

- La puissance frigorifique à l'évaporateur **P_{frigo}** (en W), elle est donnée par la relation :

$$P_{\text{frigo}} = Q_{\text{evap}} \times C_{p\text{evap}} \times \Delta T_{\text{evap}}$$

Q_{evap} étant le débit (kg/s) coté évaporateur,
 C_p (J/kg.K) la chaleur spécifique du fluide utilisé à l'évaporateur,
 ΔT_{evap} (K) la différence de température du fluide entre l'entrée et la sortie de l'évaporateur.

- La puissance absorbée par le groupe pour effectuer le transfert **P_{abs}**.

Ces puissances sont liées (aux pertes près) par la relation :

$$P_{\text{calo}} = P_{\text{frigo}} + P_{\text{abs}}$$

On définit l'EER (Energy Efficiency Ratio) comme $EER = P_{\text{frigo}}/P_{\text{abs}}$, et le COP (Coefficient Of Performance) comme $COP = P_{\text{calo}}/P_{\text{abs}}$.

c. Caractéristiques du projet

Analyse des besoins :

Nous avons retenu une consommation annuelle de **40 MWh** de chaleur. Nous avons reconstitué une distribution des appels de puissance par répartition de la consommation sur la base de données générales.

Remarque : Cette répartition, acceptable pour établir une balance énergétique, ne permet cependant pas de caractériser le fonctionnement de l'installation de manière représentative.

La figure suivante indique les appels de puissance horaires ainsi obtenus, pour une année type (8760 heures), du 1er Janvier au 31 Décembre.

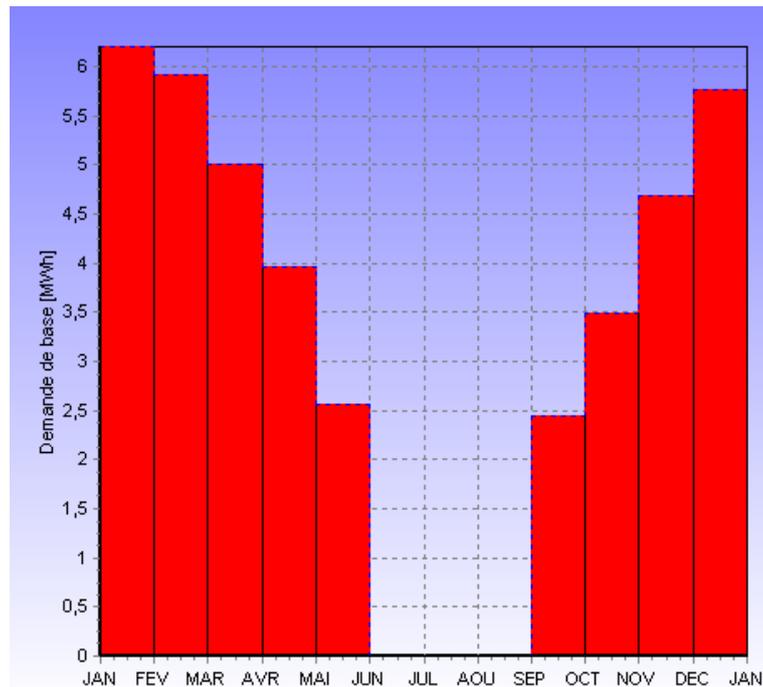


Figure 21 : Demande de base

Sonde géothermique de 300 m :

Le sous-sol simulé reprend les caractéristiques suivantes : température initiale de **14°C**, conductivité de **3 W/m.K**, capacité thermique de **2,5 MJ/m³.K**.

REMARQUE IMPORTANTE : Les caractéristiques mesurées concernent une sonde test de 100 m de profondeur. On travaille cependant avec une hypothèse de sonde de 300 m de profondeur, c'est pourquoi la température ainsi que la conductivité thermique ont été majorées.

Hypothèses sur la PAC :

Dans cette pré-étude, on ne prend pas en compte une PAC particulière, mais plutôt un modèle de PAC représentatif de la moyenne des équipements disponibles sur le marché.

Le COP moyen développé par le groupe de transfert est ainsi de **4** (hypothèse optimiste).

On suppose que la température minimum admissible à l'évaporateur (retour sondes) est de **-2°C**; la température du sol donc rester supérieure à **1°C** pour tenir compte de la résistance de sonde (pincement de 3°C en première approximation). Cependant, ceci ne constitue qu'une approximation, en effet le COP varie avec les niveaux de température imposés à l'évaporateur et au condenseur.

Une modélisation du fonctionnement de la sonde géothermique à réaliser a été conduite avec le logiciel EED.

Les données introduites sont les suivantes.

TERRAIN

Conductivité thermique du terrain : 3 W/(m·K)

Capacité thermique volumique du terrain : 2,5 MJ/(m³·K)

Température moyenne annuelle du terrain en surface : 10,9 °C

Flux de chaleur géothermique : 0,09 W/m²

FORAGE

Configuration : 1 sonde coaxiale

Profondeur : 300 m

Diamètre du forage : 252 mm

Diamètre du tube intérieur : 75 mm

Épaisseur de la paroi du tube intérieur : 4,6 mm

Conductivité thermique du tube intérieur : 0,22 W/(m·K)

Diamètre du tube extérieur : 178 mm

Épaisseur du tube extérieur : 9 mm

Conductivité thermique du tube extérieur : 0,4 W/(m·K)

Résistance de contact tube/remplissage : 0 (m·K)/W

FLUIDE CALOPORTEUR

Conductivité thermique : 0,57 W/(m·K)

Capacité thermique massique : 4202 J/(Kg·K)

Densité: 1000 Kg/m³

Viscosité: 0,0015 Kg/(m·s)

Point de congélation : 0 °C

Débit par sonde : 1900 l/s

Les résultats de la simulation donnent pour la température du fluide le graphique suivant.

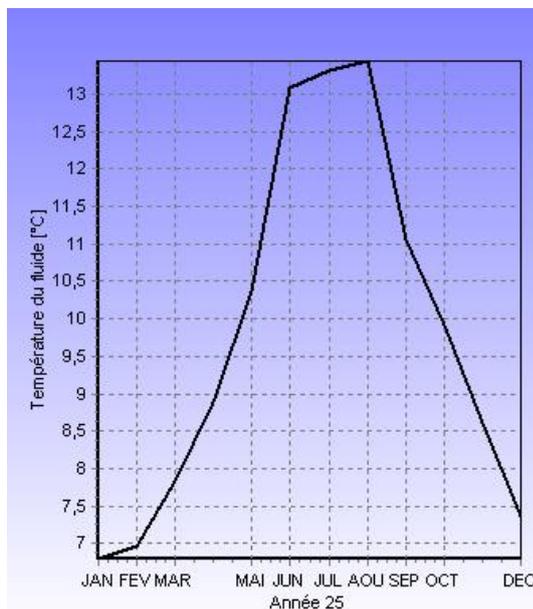


Figure 22 : Température du fluide la 25^{ème} année

Les températures max et min sur 25 ans seraient les suivantes.

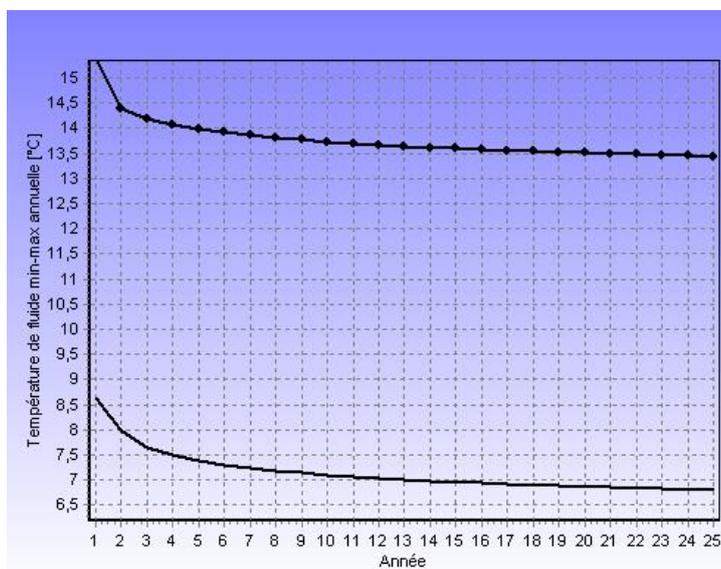


Figure 23 : Températures max et min sur 25 ans

Cette modélisation confirme que la sonde sera en mesure de fournir les besoins tels qu'exprimés sur 25 ans avec des températures toujours largement positives, ce qui permettra de ne pas ajouter de mono propylène glycol.

4.1.4. Emplacements de la sonde

Il est demandé un permis pour une zone de recherche dont l'extension est donnée ci-dessous. Cette zone englobe bien évidemment l'emplacement prévisionnel de la sonde verticale ainsi que le futur permis d'exploitation.

Pour la zone de recherche :

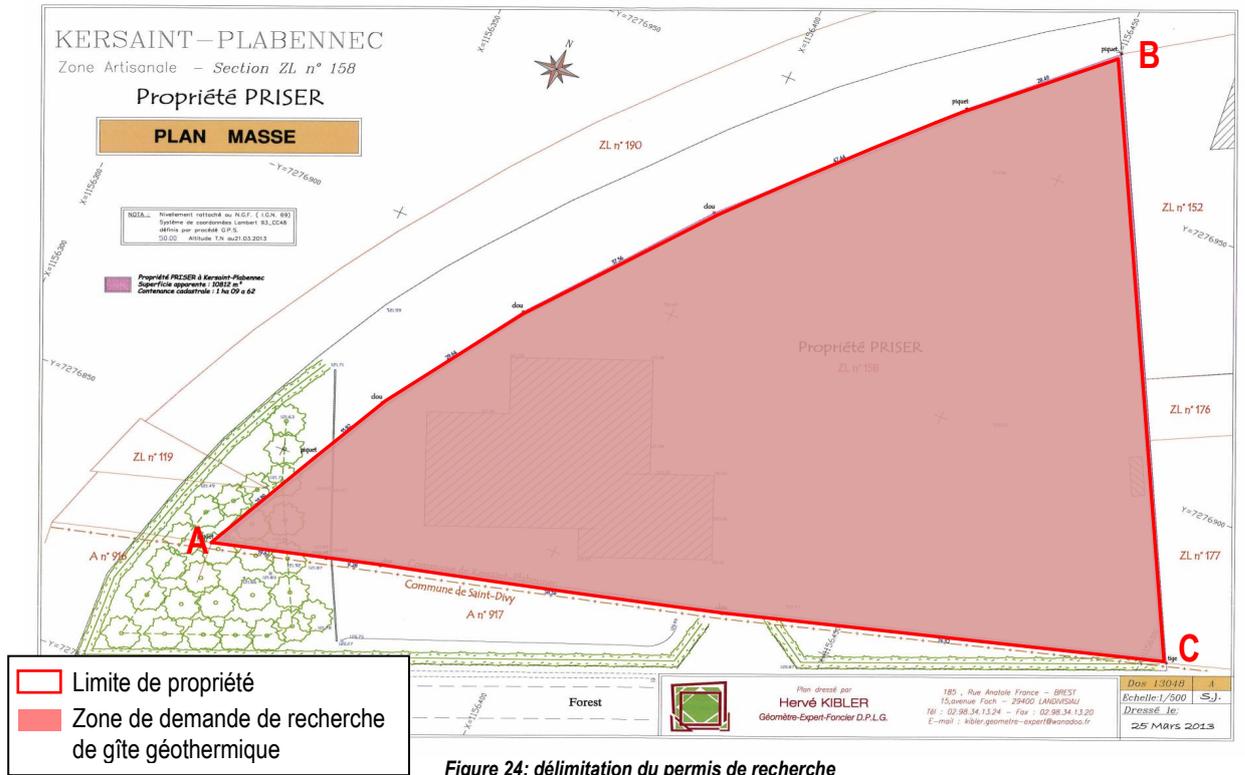


Figure 24: délimitation du permis de recherche

Voici les coordonnées (Lambert 93) des points de la zone de demande de recherche de gîte géothermique.

Point	X	Y
A	156475,27	6842811,64
B	156661,67	68300,64
C	156688,34	6842951,28

Tableau 6: Coordonnées de la zone de recherche de gîte géothermique.

Ce permis de recherche concerne la commune de Kersaint Plabennec.

La sonde prévue faisant plus de 100 m de profondeur, l'article L.153.2 du code minier prévoit que le projet ne peut être envisagé que si les propriétaires des habitations et des terrains (compris dans des clôtures murées) situés à moins de 50 m des puits aient donné leur accord. Il n'y a pas d'habitations à moins de 50 m de l'implantation de la sonde.

La sonde sera implantée sur la parcelle appartenant à la SCI du Dôme.



Figure 25 : Implantation de la sonde à réaliser

4.1.5. Descriptif de la sonde

a. Environnement géologique

La sonde aura une profondeur de 300 m. La coupe géologique du forage peut être approchée par le forage déjà réalisé sur le site référencé à la BSS : 02388X0155.

La coupe géologique prévisionnelle est la suivante :

Profondeur	Lithologie	Epaisseur
0 – 12 m	arène	12 m
12 – 300 m	Granite	288 m

Figure 26 : Coupe géologique prévisionnelle du forage à 300 m

b. Descriptif technique

La sonde est conçue conformément à la norme NF X 10-970.

Le forage pourra être réalisé avec une foreuse dont la puissance d'extraction est de 20 tonnes équipée d'un système de double tête de rotation avec récupération de cuttings conçue spécialement pour la géothermie verticale. Il sera réalisé au marteau fond de trou, auquel cas il n'y aura pas d'utilisation de boues ou au rotary.

Pour réaliser les travaux de forage, il est nécessaire de disposer d'un emplacement suffisant pour recevoir l'atelier de forage proprement dit ainsi que les accessoires (compresseur, groupe électrogène,...) ainsi que pour l'entreposage des fournitures (tubes ; ...).

Le matériel, les matériaux et les produits entrant dans la composition de l'ouvrage seront conformes aux normes françaises en vigueur :

- ↪ boucle de sonde : sonde coaxiale,
- ↪ coulis de remplissage (cimentation) : il sera conforme à la norme NF X 10-950. Le coulis de remplissage utilisé garantira la meilleure conductivité thermique possible, une étanchéité et une résistance aux contraintes physico-chimiques ;
- ↪ liquide caloporteur : eau sans adjuvant,
- ↪ écarteur : le tube intérieur sera centré à l'aide de centreurs répartis régulièrement.

Le capteur vertical sera de type co-axial.

L'espace entre le tubage 7" et le trou nu sera rempli par un coulis géothermique permettant de garantir le bon remplissage des vides et d'assurer la meilleure transmission thermique possible. Ce remplissage sera réalisé jusqu'au sommet de la sonde.

La cimentation sera réalisée sous pression au moyen d'une pompe d'injection adaptée depuis la base du forage jusqu'à -1 m du terrain naturel environ pour faciliter la réalisation de la tranchée de liaison entre l'échangeur et le local technique.

c. Coupes techniques prévisionnelles

Chronologiquement, les opérations sont les suivantes :

de	Opérations :
0 à 300 m	Forage marteau fond de trou \varnothing 252 mm minimum avec le cas échéant un tubage de soutènement provisoire pour la partie altérée.
0 à 300 m	Mise en place du tubage API 7"
0 à 300 m	Cimentation par un coulis géothermique (ciment conducteur) par injection de bas en haut sur une profondeur de 300 m
0 à 300 m	Mise en place du tube coaxial 75 mm en acier

Tableau 7 : Chronologie et description des travaux nécessaires à la réalisation de la sonde

Comme indiqué dans le tableau précédent, le forage sera équipé d'un tubage provisoire sur la partie supérieure pour tenir les terrains instables.

Lorsque l'outil aura atteint la profondeur désirée, le forage sera équipé d'un tubage API 7" descendu jusqu'au fond et sera cimenté sous pression à l'aide d'un coulis géothermique répondant à la norme.

Le tube coaxial en acier sera ensuite mis en place.

d. Méthode de forage

Les travaux de forage seront réalisés conformément à la norme NF X 10-970. Compte-tenu de la nature des terrains, la technique de la méthode du Marteau Fond de Trou (forage à l'air) avec mise en place d'un tubage acier de soutènement provisoire au droit des terrains décomprimés (en surface) sera mise en œuvre.

Un exemple d'atelier pouvant être mis en œuvre est reproduit ci-dessous.

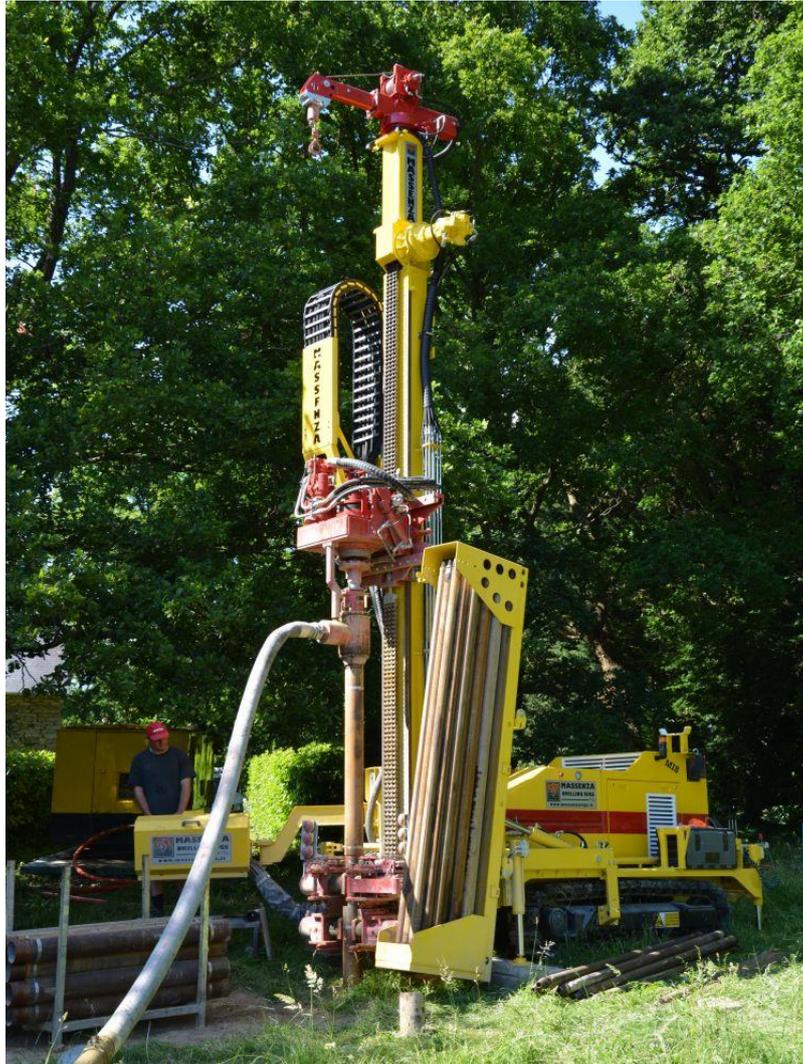


Figure 27: Exemple d'atelier de forage

Pour mener à bien ces travaux, l'équipe sera composée d'un chef foreur et d'un ou deux aides foreurs.

Outre l'atelier de forage, un compresseur sera utilisé pour faire fonctionner le Marteau Fond de Trou.

Des fiches techniques de la foreuse et du compresseur sont fournies en annexe.

Lors de la réalisation du forage, des échantillons de terrain (cuttings) seront prélevés de manière régulière pour dresser la coupe lithologique.

Les photographies suivantes illustrent la nature du chantier.



Tête de rotation équipée avec le système de récupération des cuttings



Mise en position stable de la machine, on vient coiffer la tête du tube et la tige de forage, la tige de forage est vissé à la tête de rotation et le système de récupération des cuttings est vissé sur la tête du tube.



Principe de montage pour l'évacuation des cuttings



Forage et alimentation en tube à l'avancement et en barre de forage





Le pré-tubage est amené jusqu'au toit rocheux et l'ancrage déterminé par calcul est réalisé.





Les cuttings sont évacués au fur et à mesure du forage dans une benne et envoyés dans une décharge de classe III.

Figure 28 : Clichés photographique d'un chantier de sonde géothermique

Les déblais de forage (cuttings) sont ainsi stockés dans une benne pour être ensuite envoyés dans une décharge de classe 3.

4.1.6. Liaison de surface

Les liaisons entre la sonde à la sortie du forage et les équipements seront réalisées soit au moyen de raccords mécaniques à compression soit par des raccords sertis (sertissage mécanique).

La tranchée permettant de faire la liaison entre la tête de forage et le local de la PAC sera en pente pour permettre de faciliter la purge de la sonde.

Les tuyauteries seront posées dans un lit de sable, grillage avertisseur et remblai tout venant. Ils seront en matériaux de synthèse et seront équipés d'un dispositif de filtration pour éviter l'usure prématurée par d'éventuels corps solides.

Elles seront :

- ✓ inertes par rapport au sol ;
- ✓ inertes par rapport aux liquides antigels ;
- ✓ inertes par rapport aux matériaux de remplissage.

La PAC sera implantée dans la chaufferie.

4.2. Planning et budget prévisionnel du projet

4.2.1. Planning prévisionnel

L'échelonnement prévisionnel du projet est construit ainsi :

- ✓ Réalisation des travaux : 2 semaines,
- ✓ Equipement de la sonde: 2 semaines.

4.2.2. Budget prévisionnel

Le budget prévisionnel a été évalué à 80 000 € HT.

4.3. Entretien de la sonde et son raccordement

4.3.1. Moyens et procédures de contrôles

La surveillance du fonctionnement de l'installation (pression et température du fluide caloporteur mesurées sur le collecteur ou au niveau de la boucle qui raccorde la sonde à la PAC) durant sa période d'exploitation appartient au Maître d'Ouvrage.

4.3.2. Protection des eaux souterraines

Toutes les dispositions nécessaires à garantir la protection de la ressource en eau souterraine, notamment vis-à-vis du risque de pollution par les eaux de surface et du mélange des eaux issues de différents systèmes aquifères seront prises.

La mise en place de la sonde respectera la norme NF X 10-970 :

- ↳ la sonde sera mise en place avec un positionnement à sa base d'un bouchon de pied ;
- ↳ la cimentation sera réalisée sur toute la hauteur de la sonde (arrêt à environ 1 m du terrain naturel) avec un laitier adapté à la géothermie. Les volumes théoriques et réellement remplis feront partie intégrante du rapport de forage.

La cimentation permettra d'assurer un remplissage homogène sur toute la hauteur du forage et donc de préserver la qualité des eaux souterraines, c'est-à-dire d'éviter l'infiltration superficielle de pollutions ou la mise en connexion des nappes.

Le ciment garantira également la longévité de l'ouvrage contre les agressions physico-chimiques de l'eau souterraine et les contraintes mécaniques. Il ne portera pas atteinte à l'environnement que ce soit durant l'opération de cimentation, la période d'exploitation de l'exploitation géothermique et après l'abandon de l'ouvrage.

4.3.3. Déclaration des incidents et accidents

Tout incident ou accident ayant porté ou susceptible de porter atteinte à la qualité des eaux ou à leur gestion quantitative et les premières mesures prises pour y remédier seront déclarés sous 24 heures au préfet du Finistère et à la DREAL Bretagne.

4.3.4. Inspection périodique de la sonde

La mise en place de sonde géothermique verticale ne nécessite pas d'entretien particulier.

La maintenance de la sonde durant sa période d'exploitation sera la suivante :

- ✓ un contrôle de la mesure du point de congélation dans le circuit primaire sera effectué à minima tous les trois ans et son complément éventuel. Cette opération sera réalisée par un installateur en chauffage ; le remplacement total du liquide caloporteur s'effectuera tous les cinq ans.
- ✓ une vérification de l'état des raccords en cas de détection de fuite(s).

L'entretien ou la maintenance de l'installation reste à la charge exclusive du Maître d'Ouvrage.

4.4. Prévision des conditions de l'arrêt de l'exploitation

En cas d'abandon, toutes les mesures conservatoires seront prises pour ne pas porter atteinte à la nappe. Ainsi, l'abandon de la sonde entraînera l'obturation et étanchéisation de la sonde selon le protocole décrit chapitre 11.

5. Analyse des effets sur l'environnement

5.1. Localisation du site et description de son environnement

5.1.1. Localisation

Les plans de situation du projet et des ouvrages sont présentés au paragraphe 3.

5.1.2. Descriptif de l'environnement



Figure 29: Descriptif de l'environnement autour du projet.

Le projet est situé en milieu rural.

La sonde sera implantée à l'Ouest de la ZA Pen ar Forest, au Sud de la commune de Kersaint Plabennec. La zone est limitée au Nord par la N 12 au Sud par la D 25.

5.1.3. Climatologie

La station météorologique la plus proche du projet est située sur la commune de Brest-Guipavas, où l'on trouve l'aéroport de Brest.

De par sa situation proche de l'océan Atlantique, le climat est tempéré océanique : hivers doux et pluvieux, étés frais relativement humides. La température moyenne annuelle sur les 30 dernières années est de 11,4°C. Grâce à la proximité de l'océan, Brest-Guipavas subit rarement des extrêmes au niveau des températures, les jours avec des températures d'au moins 30°C sont rares et les fortes gelées aussi. Ci-dessous les moyennes de températures et de précipitations sur les 30 dernières années (source : infoclimat.fr)

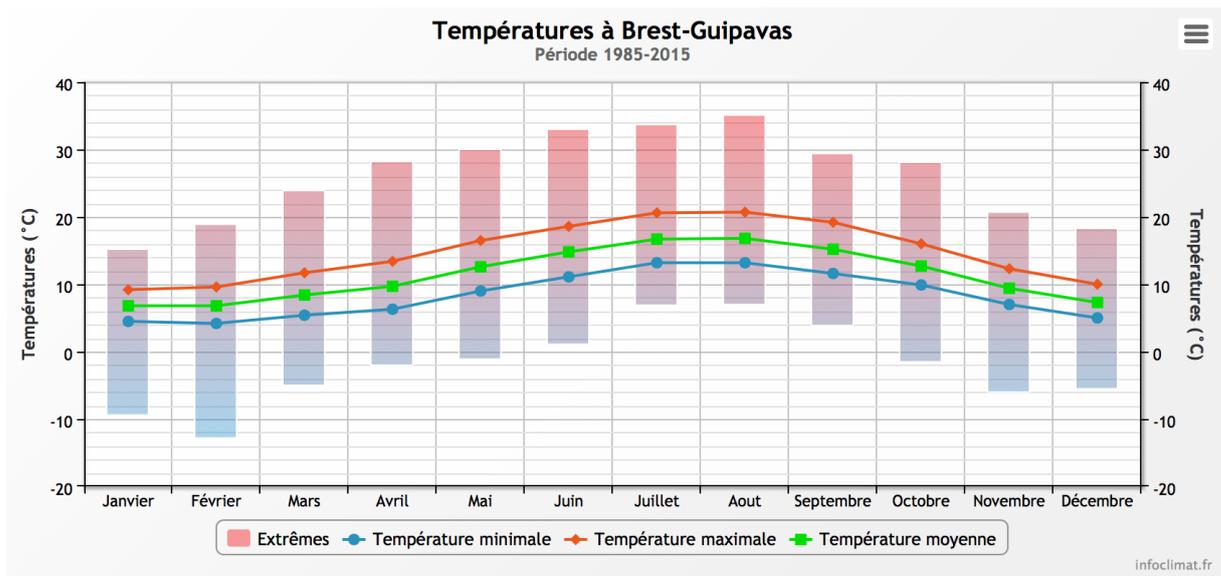


Figure 30 : Moyennes températures annuelles 1985-2015 - Station Brest-Guipavas (infoclimat.fr)

La répartition des pluies brutes est indiquée ci-dessous et se caractérise par des pluies plus abondantes en hiver diminuant au cours du printemps pour atteindre un minimum en juin à août. Les chutes de neige y sont plutôt rares. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 1070 mm sur la base des 30 dernières années de mesure.

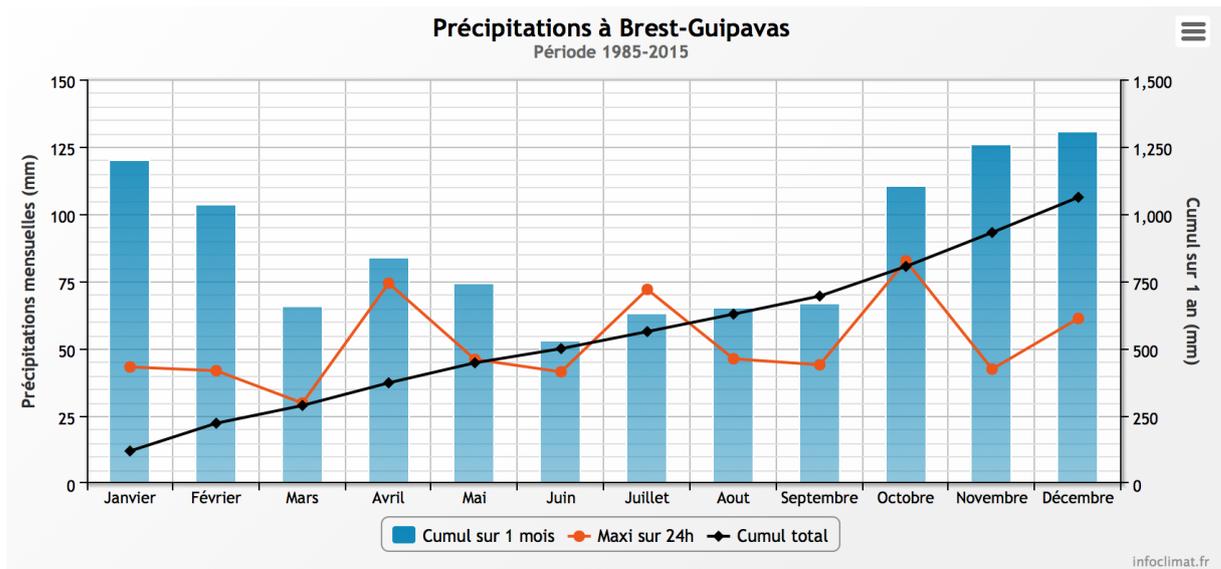


Figure 31 : Répartition mensuelle des précipitations 1985-2015 - Station Brest-Guipavas (infoclimat.fr)

La rose des vents 2015 indique une prépondérance des vents de direction Ouest, Sud-ouest et Sud.

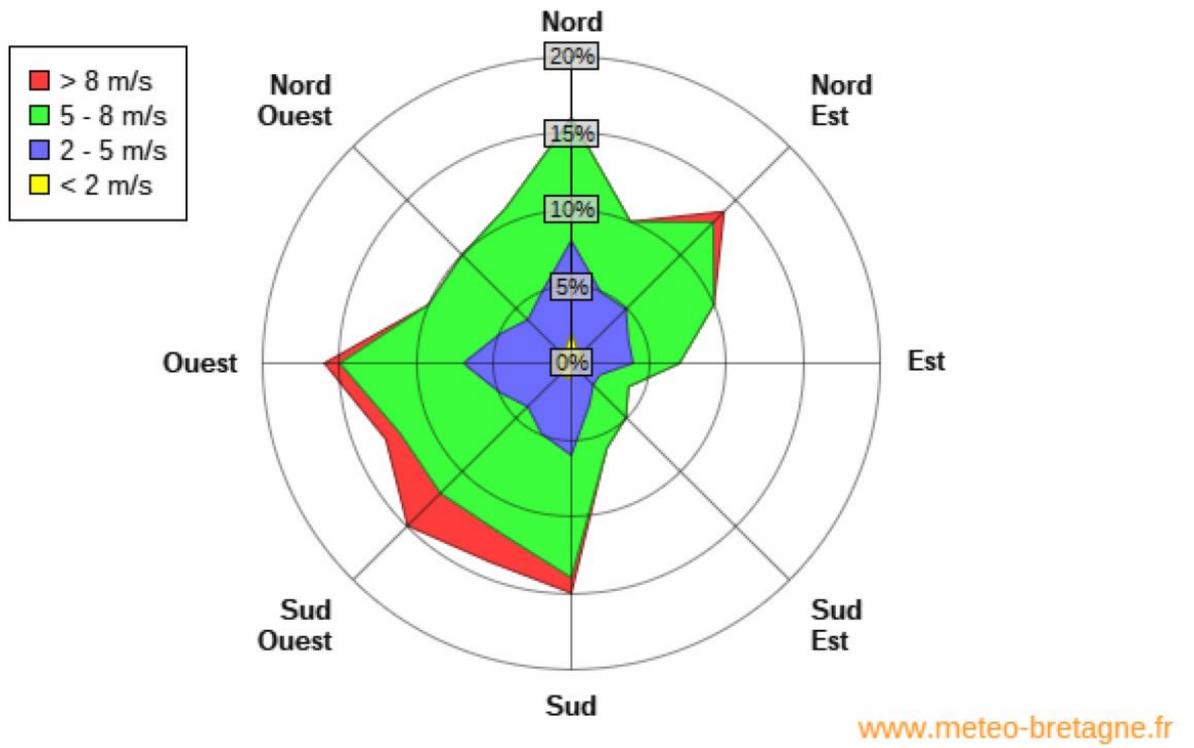


Figure 32 : Rose des vents station de Brest-Guipavas (meteo-bretagne.fr)

5.1.4. Sismicité

Les communes de Kersaint Plabennec et Saint Divy sont classées en zone de sismique 2, ce qui signifie que la sismicité est faible. Aucune mesure particulière n'est imposée à ce niveau de sismicité.

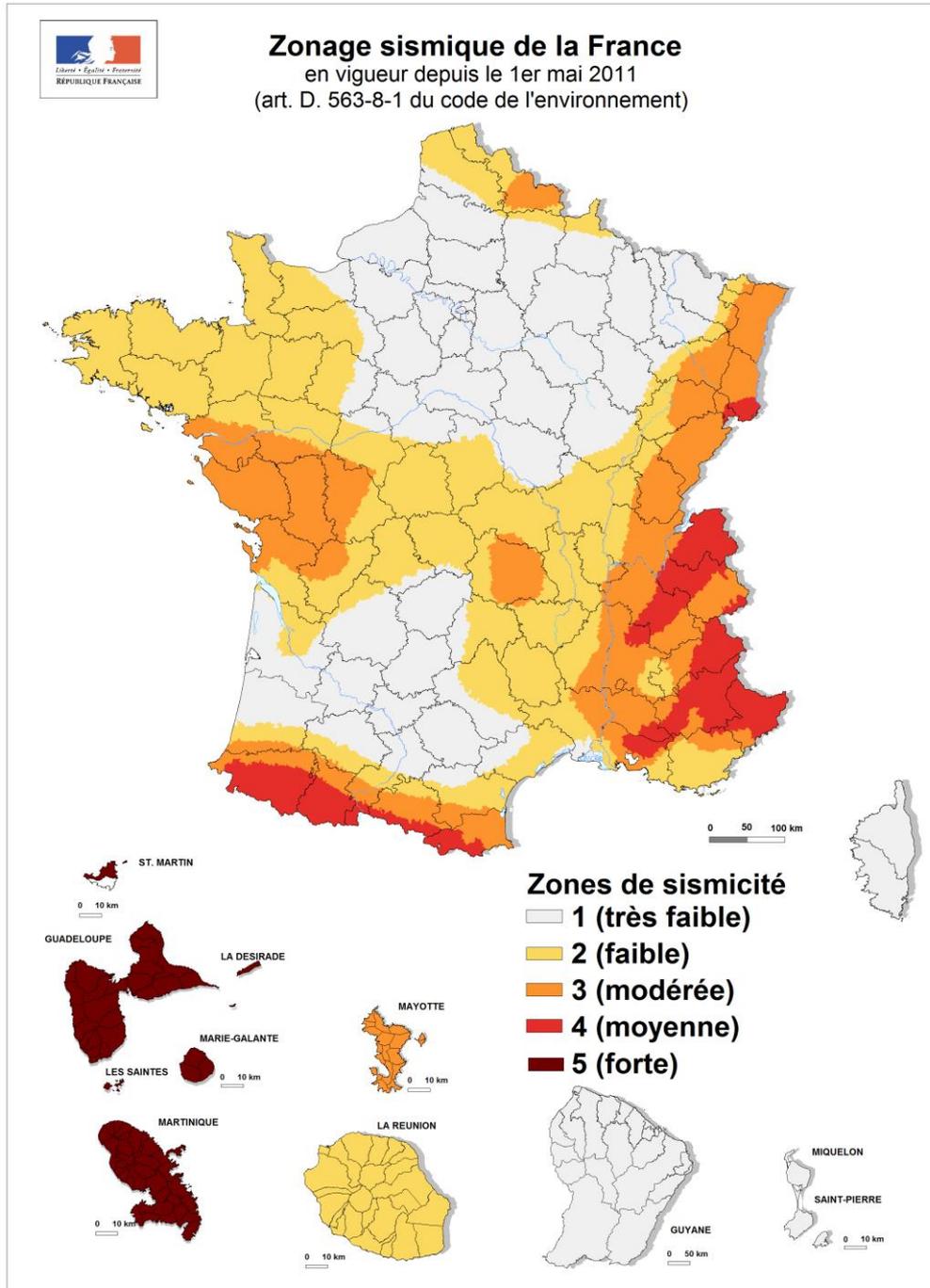


Figure 33: Carte des zones de sismicité en France.

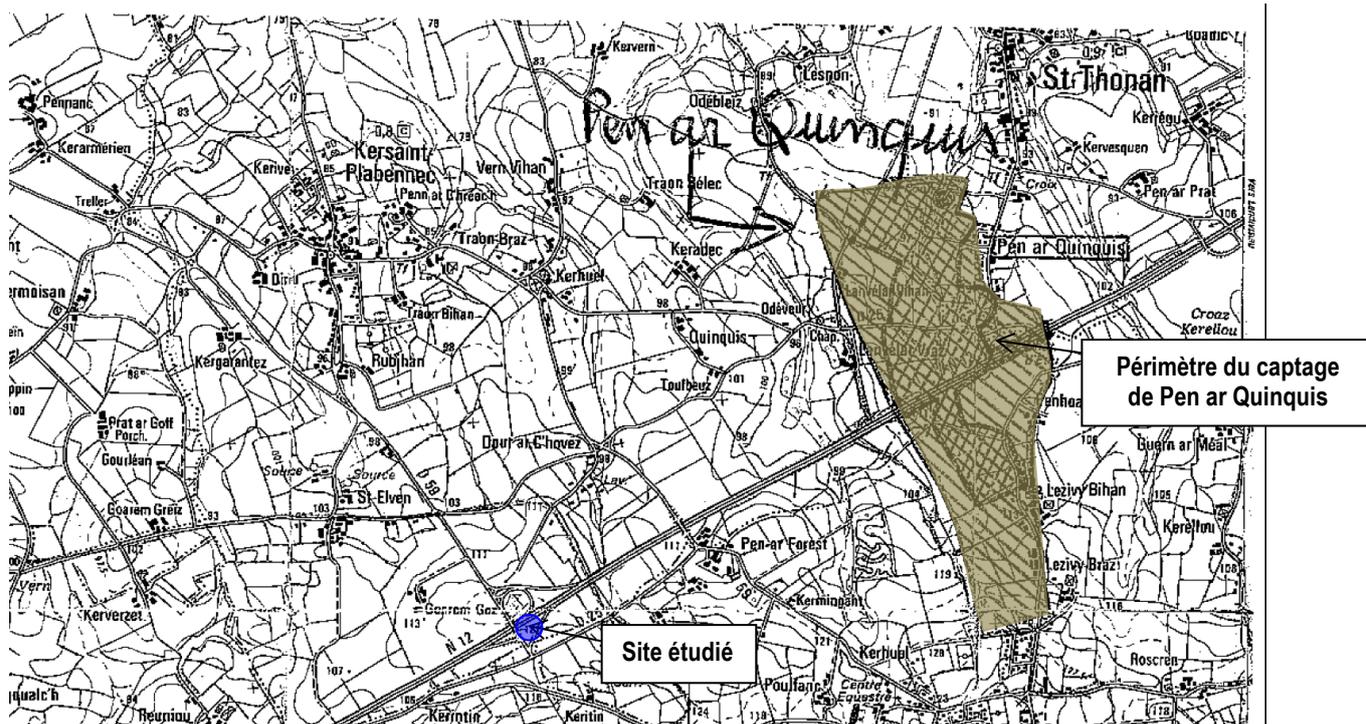


Figure 35 : Périmètre de protection du captage de Pen ar Quinquis

Le projet de sonde verticale ne peut pas avoir d'impact sur les prélèvements d'eau environnants puisqu'il n'y aura aucun prélèvement d'eau.

De plus, la cimentation empêchera la contamination des eaux souterraines, il n'y aura donc pas d'impact sur ces eaux.

5.2. Etude d'impact

5.2.1. Impacts temporaires liés aux travaux

L'engagement de travaux de forages sur le site peut engendrer plusieurs types de risques que nous allons présenter maintenant :

a. Les eaux souterraines

La cimentation du puits prévue empêche la contamination des eaux souterraines, il n'y a donc pas d'impact des travaux sur ces eaux.

Le fluide caloporteur sera uniquement à base d'eau et ne peut par conséquent altérer la nappe en cas de fuite de la sonde.

Aucun prélèvement d'eau en dehors de la phase de forage n'interviendra. Par conséquent, aucun impact quantitatif n'est à prévoir.

D'un point de vue thermique, la zone impactée sera faible et ne modifiera pas la température de la nappe.

b. Les eaux de surface

Le site est éloigné du réseau hydrographique. Par conséquent, les travaux ne peuvent avoir d'impact sur les eaux de surface.



Figure 36 : Réseau hydrographique

Les eaux superficielles concernées par le projet se limitent aux eaux de ruissellement sur la surface du chantier. Dans la mesure où ce forage doit être réalisé dans l'entrepôt couvert, il n'y aura pas de ruissellement.

c. Incidence relative aux hydrocarbures

L'utilisation sur le site d'hydrocarbures sera destinée au fonctionnement de la foreuse et du compresseur. Le matériel utilisé sera conforme aux normes en vigueur. Le stockage d'hydrocarbures sera limité aux réservoirs

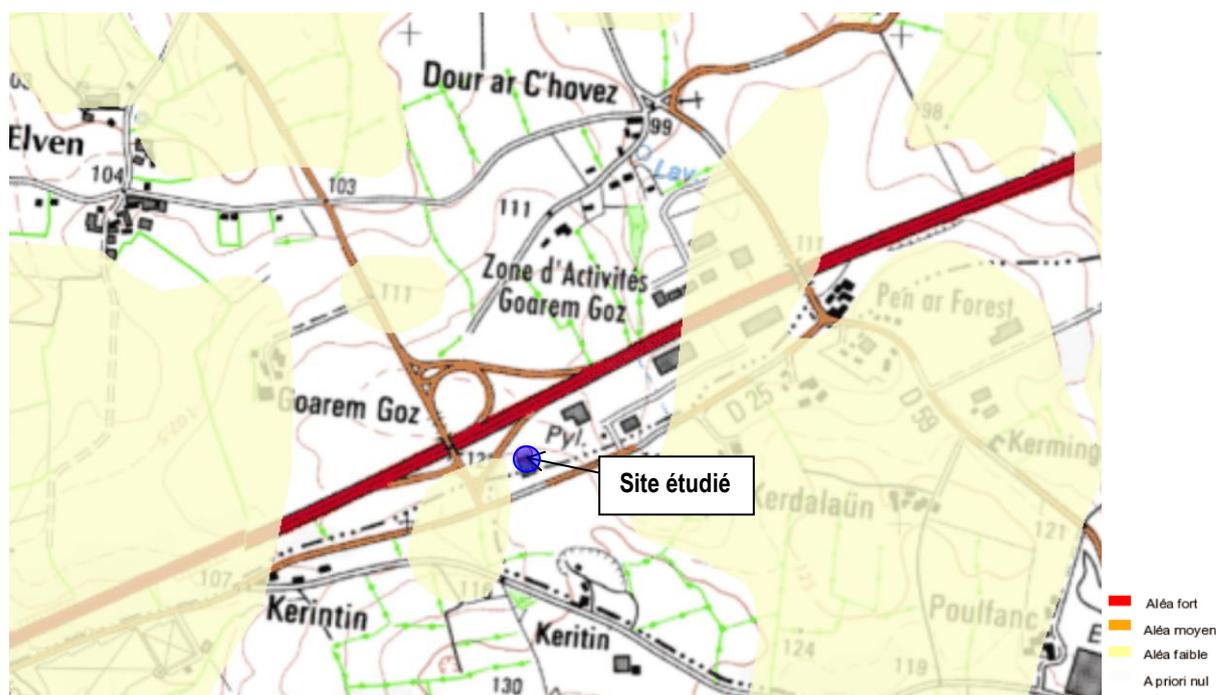
du compresseur et de la foreuse. En cas de stockage sur site, la cuve utilisée sera de type double enveloppe ou bien installée sur une cuve de rétention d'une capacité au moins égale au volume stocké.

Le site étant clos, les risques de malveillance peuvent être écartés.

Le personnel sur site est formé aux consignes de sécurité et disposera d'un kit antipollution. En cas de déversement accidentel, les terres souillées seront évacuées via une filière de traitement adapté.

d. Risques naturels et technologiques :

- Cavités : aucun risque
- Retrait et gonflement des argiles : aléa a priori nul comme en témoigne la carte ci-dessous :



- Inondations : aucun risque
- Activités industrielles :
 - Site BASIAS :

Les sites les plus proches sont listés dans le tableau suivant et sont reportés sur la carte :

Identifiant	Raison Sociale	Activité	Adresse	Etat - Occupation
BRE2902930	Koachimie SARL	Stockage de produits chimiques (solvants pétroliers et chlorés)	Kerintin 29075 GUIPAVAS	En activité
BRE2903503	Commune de Saint Divy	Stockage de déchets non dangereux (ordures ménagères)	Kerdalaun 29245 SAINT DIVY	Fermé

Tableau 8 : Sites industriels les plus proches

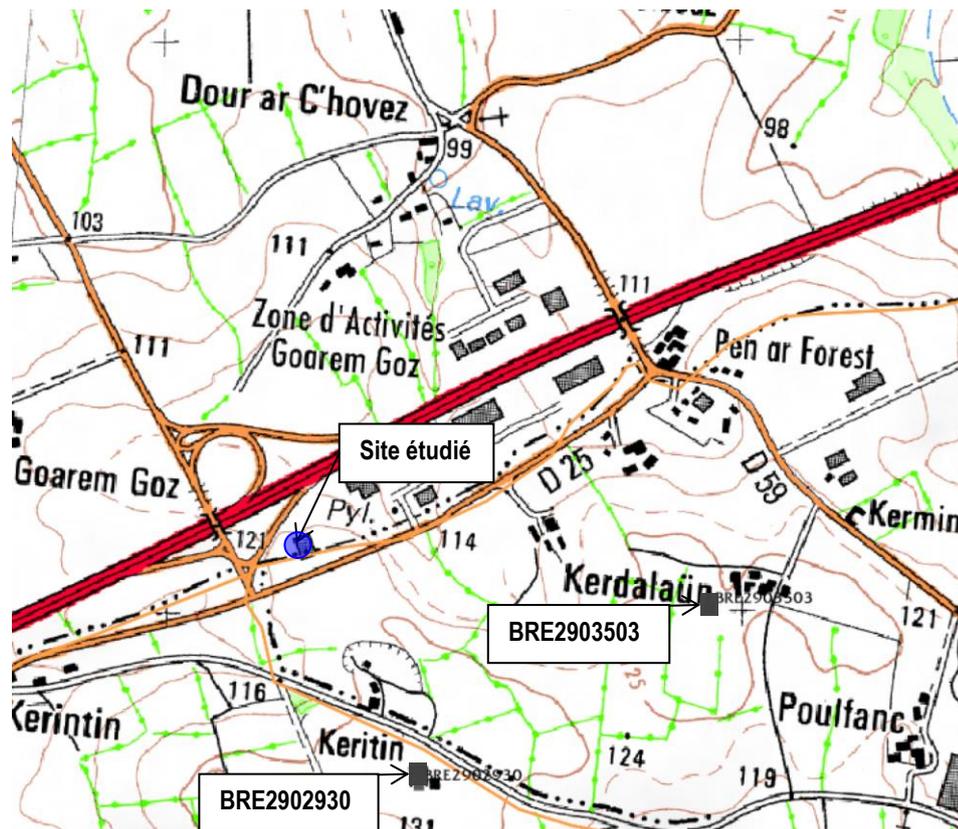


Figure 37 : extrait de la carte BASIAS

○ Site BASOS :
Il n'existe aucun site BASOL à proximité du projet. Le site le plus proche, localisé à Landernau, est à plus de 7km.

e. Les protections réglementaires et zones d'inventaire

Le site d'emprise du projet n'est concerné par aucune zone réglementaire et d'inventaire, telle que les Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique ou Floristique (ZNIEFF), les arrêtés de protection de biotope, les zones Natura 2000 :

- ✓ Le réseau Natura 2000, selon les directives européennes, est constitué de deux types de sites :
 - **Les Zones de Protection Spéciale (Z.P.S.)**, consacrées à la préservation des oiseaux, en application de la directive "Oiseaux",
 - **Les Zones Spéciales de Conservation (Z.S.C.)** consacrées à la protection des habitats et des espèces (faune, flore) dits d'intérêt communautaire, en application de la directive "Habitats- Faune-Flore".



Figure 38 : Natura 2000 (serveur Carmen)

Le formulaire d'évaluation préliminaire des incidences Natura 2000 est joint à la présente demande.

✓ Les ZNIEFF

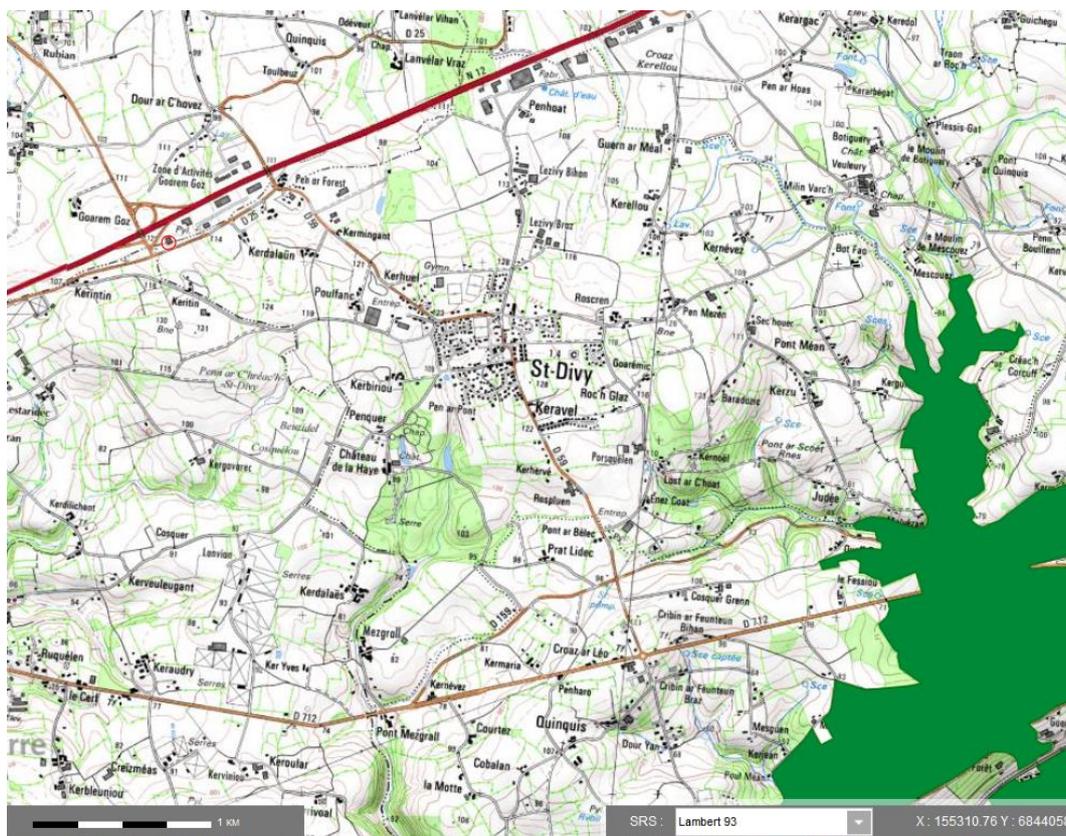


Figure 39 : Localisation des ZNIEFF

- ✓ La flore : aucune espèce protégée n'a été inventoriée sur le secteur du projet.
- ✓ La faune : la zone du projet se situe dans un espace à forte connotation rurale et naturelle. Cet environnement est diversifié en habitats naturels et vraisemblablement en espèces animales. Les échanges entre tous ces milieux sont dynamiques, y compris les échanges entre populations animales. La zone du projet, sans inventaire exhaustif, peut être considérée comme moyennement intéressante d'un point de vue faunistique. Cependant, les travaux de réalisation de la sonde n'auront aucun impact sur elle.

✓ Sites et paysages inscrits ou classés :

La loi du 2 mai 1930 organise la protection des monuments naturels et des sites dont la conservation ou la préservation présente, au point de vue artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque, un intérêt général.

Elle comprend 2 niveaux de servitudes :

- les sites classés dont la valeur patrimoniale justifie une politique rigoureuse de préservation. Toute modification de leur aspect nécessite une autorisation préalable du Ministre de l'Écologie, ou du Préfet de Département après avis de la DREAL, de l'Architecte des Bâtiments de France et, le plus souvent de la Commission Départementale de la Nature, des Paysages et des Sites.
- les sites inscrits dont le maintien de la qualité appelle une certaine surveillance. Les travaux y sont soumis à l'examen de l'Architecte des Bâtiments de France qui dispose d'un avis simple sauf pour les permis de démolir où l'avis est conforme.

A proximité du site étudié se trouve le site classé et inscrit du « Manoir de La Haye et ses 2 Etangs »

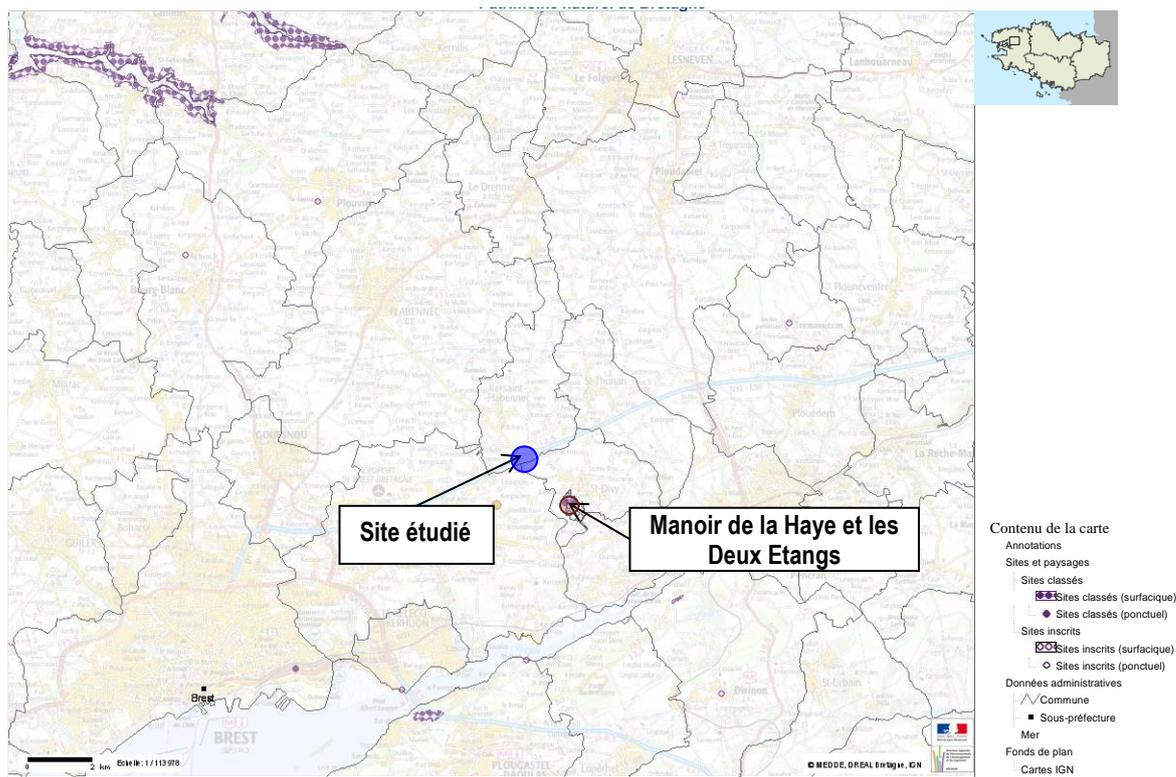


Figure 40 : sites classés et sites inscrits (serveur Carmen)

La présence de la foreuse et de machines de chantier pendant les travaux constituera le seul impact sur le paysage.

Les travaux n'induiront aucun impact ni sur le sol, ni sur les infrastructures.

- ✓ Le bruit de la machine de forages crée un impact sonore modéré. Cependant, aucune habitation n'est recensé à proximité immédiate de la sonde, il n'y aura donc pas de gênes occasionnés par le bruit durant la phase travaux.
- ✓ Aucun impact sur la qualité de l'air n'est à prévoir, seuls les gaz d'échappement des moteurs seront émis dans l'atmosphère. Le matériel utilisé est conforme aux réglementations en vigueur.
- ✓ La machine de forages peut engendrer de faibles vibrations du sol. Celles-ci sont cependant très limitées.
- ✓ Les travaux entraîneront un trafic supplémentaire. Néanmoins, l'ensemble des livraisons est au gabarit routier.

Lors de la phase travaux, il y aura :

- Des transport de produits (ciment, tubages,...) ;
- Evacuation des déblais de forage par camion,

Les travaux étant réalisés par la Société PRISER occupante du terrain dont l'activité est le forage, il apparaît donc que les mouvements de camions ne seront guère différents de l'activité quotidienne du site. Les travaux n'induiront aucune gêne pour les riverains.

5.2.2. Impacts permanents liés à l'exploitation

La sonde géothermique verticale prévue possédera une cimentation étanche qui évitera toute communication et écoulement entre l'aquifère et la surface.

Le forage est situé en dehors de tout périmètre de protection de captage, il ne représente donc aucun danger pour ces captages.

a. Impact de l'exploitation d'une sonde géothermique verticale

Voici la liste des impacts éventuels du projet et leurs conséquences :

- Impact sur les eaux superficielles : aucun.
- Impact sur les eaux souterraines : aucun
- Impact sur le sol : aucun.
- Impact sur les infrastructures : aucun.
- Impact sur les commodités, la salubrité et la sécurité du voisinage et du public : aucun.
- Impact sonore : aucun.
- Impact sur la qualité de l'air : aucun.
- Vibrations : néant.
- Risques : aucun.

b. Impact piézométrique

L'exploitation de la sonde géothermique verticale ne nécessitant aucun prélèvement d'eau, il n'y aura donc aucun impact piézométrique.

c. Impact thermique

Les dimensions de la sonde ont été choisies pour que le sol puisse se régénérer correctement. Il n'y aura donc pas d'impact thermique.

d. Impacts relatifs à la protection des eaux

La cimentation prévue empêche la contamination des eaux souterraines, il n'y aura donc pas d'impact lié à l'exploitation sur ces eaux.

De plus, le ciment garantira également la longévité de l'ouvrage contre les agressions physico-chimiques de l'eau souterraine et les contraintes mécaniques. Il ne portera pas atteinte à l'environnement que ce soit durant l'opération de cimentation, la période d'exploitation de l'installation géothermique et après l'abandon de l'ouvrage.

e. Impact visuel

La sonde géothermique sera enterrée et située dans un bâtiment existant. Aucun impact visuel n'est à considérer.

f. Impacts sur les milieux protégés

Le site est éloigné de tout milieu naturel protégé. Par conséquent, il n'y aura aucun impact permanent sur ces milieux.

g. Impacts sur les risques naturels

Comme indiqué précédemment, le site n'est pas concerné par des risques naturels.

6. Mesures prévues pour supprimer, réduire ou compenser les conséquences dommageables à l'environnement

Hormis un événement exceptionnel dépassant le simple cadre du forage, aucune conséquence dommageable à l'environnement ne peut survenir en ce qui concerne la simple exploitation d'une sonde géothermique verticale et les opérations de maintenance classiques qui peuvent lui être associées.

Le forage sera réalisé selon la technique du marteau Fond de Trou qui n'utilise aucune boue de forage dans la mesure où l'outil de forage est actionné par de l'air comprimé. Le seul fluide utilisé correspond au carburant nécessaire au fonctionnement des moteurs (foreuse, compresseurs) ; les stockages seront conforme à la réglementation (cuve double paroi ou cuvette de rétention). Les risques de déversement accidentels sont minimes. En cas de déversement, ceux-ci seront neutralisés et évacués dans une filière adaptée.

Le fluide présent dans la sonde sera de l'eau potable dans la mesure où les températures resteront positives. Par conséquent, il n'y a aucun risque de pollution de la nappe en cas de fuite sur le tubage qui sera par ailleurs cimenté.

7. Compatibilité avec le SDAGE

Le SDAGE 2015-2021 du bassin Loire-Bretagne, adopté par le Comité de Bassin le 4 novembre 2015 et publié par arrêté préfectoral le 18 novembre 2015 est en vigueur pour une durée de 6 ans. C'est un document de planification qui décrit les priorités de la politique de l'eau pour le bassin hydrographique et les objectifs. Il est complété d'un programme de mesures à adoptées pour atteindre les objectifs et plus particulièrement celui de 61% des eaux en bon état d'ici 2021.

Les réponses à ces questions sont organisées au sein de 14 chapitres qui définissent les grandes orientations et des dispositions à caractère juridique pour la gestion de l'eau :

1 Repenser les aménagements de cours d'eau

Les modifications physiques des cours d'eau perturbent le milieu aquatique et entraînent une dégradation de son état.

2 Réduire la pollution par les nitrates

Les nitrates ont des effets négatifs la santé humaine et le milieu naturel.

3 Réduire la pollution organique et bactériologique

Les rejets de pollution organique sont susceptibles d'altérer la qualité biologique des milieux ou d'entraver certains usages.

4 Maîtriser et réduire la pollution par les pesticides

Tous les pesticides sont toxiques au-delà d'un certain seuil. Leur maîtrise est un enjeu de santé publique et d'environnement.

5 Maîtriser et réduire les pollutions dues aux substances dangereuses

Leur rejet peut avoir des conséquences sur l'environnement et la santé humaine, avec une modification des fonctions physiologiques, nerveuses et de reproduction.

6 Protéger la santé en protégeant la ressource en eau

Une eau impropre à la consommation peut avoir des conséquences négatives sur la santé. Elle peut aussi avoir un impact en cas d'ingestion lors de baignades, par contact cutané ou par inhalation.

7 Maîtriser les prélèvements d'eau

Certains écosystèmes sont rendus vulnérables par les déséquilibres entre la ressource disponible et les prélèvements. Ces déséquilibres sont particulièrement mis en évidence lors des périodes de sécheresse.

8 Préserver les zones humides

Elles jouent un rôle fondamental pour l'interception des pollutions diffuses, la régulation des débits des cours d'eau ou la conservation de la biodiversité.

9 Préserver la biodiversité aquatique

La richesse de la biodiversité aquatique est un indicateur du bon état des milieux. Le changement climatique pourrait modifier les aires de répartition et le comportement des espèces.

10 Préserver le littoral

Le littoral Loire-Bretagne représente 40 % du littoral de la France continentale. Situé à l'aval des bassins versants et réceptacle de toutes les pollutions, il doit concilier activités économiques et maintien d'un bon état des milieux et des usages sensibles.

11 Préserver les têtes de bassin versant

Ce sont des lieux privilégiés dans le processus d'épuration de l'eau, de régulation des régimes hydrologiques et elles offrent des habitats pour de nombreuses espèces. Elles sont très sensibles et fragiles aux dégradations.

12 Faciliter la gouvernance locale et renforcer la cohérence des territoires et des politiques publiques

La gestion de la ressource en eau ne peut se concevoir qu'à l'échelle du bassin versant. Cette gouvernance est également pertinente pour faire face aux enjeux liés au changement climatique.

13 Mettre en place des outils réglementaires et financiers

La directive cadre européenne sur l'eau énonce le principe de transparence des moyens financiers face aux usagers. La loi sur l'eau et les milieux aquatiques renforce le principe « pollueur-payeur ».

14 Informer, sensibiliser, favoriser les échanges

La directive cadre européenne et la Charte de l'environnement adossée à la Constitution française mettent en avant le principe d'information et de consultation des citoyens.

Directives du SDAGE	Réponse du projet
Repenser les aménagements de cours d'eau	
Réduire la pollution par les nitrates	Le projet de sonde verticale ne générera aucune pollution. En effet, la sonde est cimentée ce qui empêchera toutes pollutions vers les nappes d'eau souterraine.
Réduire la pollution organique et bactériologique	Le projet de sonde verticale ne générera aucune pollution. En effet, la sonde est cimentée ce qui empêchera toutes pollutions vers les nappes d'eau souterraine.
Maîtriser et réduire la pollution par les pesticides	Sans objet.
Maîtriser et réduire les pollutions dues aux substances dangereuses	Le projet de sonde verticale ne générera aucune pollution. En effet, la sonde est cimentée ce qui empêchera toutes pollutions vers les nappes d'eau souterraine.
Protéger la santé en protégeant la ressource en eau	La ressource en eau n'est pas atteinte, de plus, l'ouvrage sera cimenté et seul de l'eau sera utilisée en circuit fermé.
Maîtriser les prélèvements d'eau	La valorisation thermique du sous-sol sans prélèvement d'eau participe à la maîtrise des prélèvements.
Préserver les zones humides	Le projet de sonde verticale ne portera pas atteinte aux milieux aquatiques.
Préserver la biodiversité aquatique	Le projet de sonde verticale contribuera à la réduction des gaz à effet de serre à partir de la valorisation de la chaleur du sous-sol.
Préserver le littoral	Sans objet
Préserver les têtes de bassin versant	Le projet de sonde verticale ne porte pas atteinte à la ressource en eau car il n'y aura pas de prélèvement dans les nappes d'eau souterraine.
Faciliter la gouvernance locale et renforcer la cohérence des territoires et des politiques publiques	Sans objet
Mettre en place des outils réglementaires et financiers	Sans objet
Informier, sensibiliser, favoriser les échanges	Sans objet

Tableau 9 : Confrontation du projet aux directives du SDAGE

Tant en phase travaux qu'en phase exploitation, toutes les mesures seront prises pour ne pas polluer la nappe :

- La cimentation prévue de la sonde empêche la contamination des eaux souterraines, il n'y a donc pas d'impact des travaux ni de l'exploitation sur ces eaux ;
- Forage au marteau fond de trou (pas de boues).

8. Compatibilité avec le SAGE du Bas Léon

La commune de Kersaint-Plabennec fait partie du SAGE du Bas Léon. Ce SAGE a été approuvé le 7 mars 2014.

Il vise à reconquérir la qualité des eaux (de surface et souterraines) avec 5 enjeux majeurs :

- Restaurer la qualité des eaux
- Réduire les flux de nutriments
- Etablir la libre circulation des espèces
- Préserver l'équilibre écologique
- Gérer les risques liés aux pollutions.

Le projet, objet de la présente demande, n'est en aucun cas en opposition avec le Plan d'Aménagement et de Gestion Durable.

9. Document de sécurité et de santé (étude de danger)

Tous les travaux qui seront effectués à proximité ou au droit du forage seront réalisés par des entreprises compétentes en la matière et qui se conformeront aux règles de sécurité en vigueur.

Notamment, l'entrepreneur est soumis aux obligations résultant des lois et règlements, relatives à la protection de la main d'œuvre et aux conditions de travail. Il est tenu d'assurer la discipline et la sécurité sur les chantiers et leurs abords.

Il est tenu d'observer toutes les règles administratives et professionnelles inhérentes à son activité ; à cet effet, il est tenu notamment d'observer les consignes de la Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production de Pétrole et du Gaz Naturel et celles relatives aux textes suivants :

- ✓ Code Minier notamment son chapitre II du titre IV :
 - décret n° 80 330 du 7 mai 1980 relatif à la Police des Mines et des Carrières,
 - décret n° 80 331 du 7 mai 1980 portant règlement général des Industries Extractives et le règlement joint à ce décret,
 - décret n° 76 48 du 9 janvier 1976 relatif à la protection du personnel contre les courants électriques dans les Mines et les Carrières,
 - décret n° 59 285 du 27 janvier 1959 portant règlement d'exploitation des Mines autres que les Mines de combustibles minéraux solides et les Mines d'hydrocarbures exploitées par sondages et notamment les articles 4 et 23 inclus, 273 et 275,
- ✓ code du travail articles L7II.5 à L7II-I2 et D7II-1 à D7II-20,
- ✓ les arrêtés ministériels pris en application des textes susvisés.

Lors des travaux, les entreprises intervenant sur le chantier prendront toutes les dispositions pour assurer la sécurité du personnel.

L'Entrepreneur doit prendre sur ses chantiers toutes les mesures d'ordre et de sécurité propres à éviter des accidents, tant à l'égard du personnel qu'à l'égard des tiers. Il est tenu d'observer tous les règlements et consignes de l'autorité compétente.

Il assure notamment l'éclairage de ses chantiers ainsi que leur signalisation tant intérieure qu'extérieure. Il assure également, en tant que de besoin, l'entretien de la clôture provisoire de ses chantiers.

Il doit prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter que les travaux ne causent un danger aux tiers, notamment pour la circulation publique si celle-ci n'a pas été déviée.

L'Entrepreneur doit prendre les dispositions utiles pour assurer l'hygiène des installations de chantier destinées au personnel et notamment la protection individuelle contre d'éventuelles émanations de gaz (H_2S , C_nH_n , CO_2 ...).

Toutes les mesures d'ordre, de sécurité et d'hygiène prescrites ci-dessus sont à la charge de l'Entrepreneur.

Il établira un document unique conformément à la réglementation ainsi qu'un PPSPS.

Le plan d'hygiène et de sécurité devra être affiché en permanence dans les différentes cabines du chantier.

Il convient de noter que ces travaux sont relativement modestes dans la mesure où l'effectif sera inférieur à 4 personnes présentes simultanément sur le chantier lors des travaux.

Les risques liés à la réalisation de la sonde géothermiques sont rassemblés dans le tableau suivant avec les mesures sécuritaires envisagées.

Phase	Risques identifiés	Mesures retenues
Accès au chantier	Accident de circulation Chute Obstacle au sol	Accueil et formation à la sécurité du personnel par le chef de chantier ou le responsable sécurité de l'entreprise Port des EPI Rangement du chantier
Circulation sur le chantier	Renversement de personne	Balisage des voies de circulation
Circulation sur la plateforme de travail	Chute d'objet en cours de levage Risque de trébucher matériaux sur le sol	Consigne pour s'écarter des charges en cours de manutention Maintenance de la plateforme dans un état de propreté et rangement propice à la bonne organisation
Visite du chantier	accident	Chantier interdit au public sauf à la DREAL

Tableau 10 : Risques identifiés et mesures retenues

Remarques :

- Deux accidents répertoriés dans le cadre de la géothermie ont eu lieu depuis 2004. Il s'agit pour le premier d'une fuite dans un local de traitement de géothermie à Meaux en septembre 2008 et pour le second d'un incendie dans un laboratoire du département géothermie et matériaux d'un centre d'essai (2004). Ces deux références n'ont aucun lien avec la nature du projet présenté. Pour le premier, il s'agit d'une fuite d'un produit de traitement, dans le cadre du projet il n'est pas prévu d'utiliser d'inhibiteur de corrosion. Pour le second, il s'agit d'un incendie.
- 67 accidents sont répertoriés dans le cadre de forages depuis 1978. Un grand nombre concerne des pollutions survenues sur des sites ayant pu impacter la nappe, ils ne concernent pas directement les travaux de forages.

Pour ce qui est des travaux de forages, les principaux types d'accidents concernent :

- 1) Le transport et l'utilisation de produits (utilisation de polyphosphates et d'eau oxygénée pour développer le forage, acide, acétylène notamment), 3 cas archivés
- 2) Le percement de canalisations ou réservoirs enterrés, 4 cas archivés,
- 3) Le rejet de produits de forages (boues), 10 cas archivés,
- 4) Des interférences avec des forages voisins entraînant une turbidité de l'eau pompée, 1 cas archivé,
- 5) La rencontre d'une nappe artésienne, 1 cas archivé,
- 6) La stabilité d'un atelier de forages, 1 cas archivé.

Dans le cadre du projet de Kersaint Plabennec, nous pouvons exclure les cas 4, 5 et 6. En effet, il n'existe pas de forages en exploitation à proximité, les nappes situées à l'emprise du projet ne sont pas artésiennes et l'atelier de forage ne présente pas un mât de hauteur importante.

En ce qui concerne le transport et l'utilisation de produits, toutes les précautions seront prises conformément à la réglementation en vigueur.

Le percement de canalisation ou de cuves ne peut être envisagé dans la mesure où l'implantation retenue pour le forage est définitivement arrêtée après vérification auprès des concessionnaires de réseaux.

Le rejet de boues de forages n'est pas envisageable dans la mesure où la foration s'effectue au Marteau Fond de Trou.

10. Permis d'exploitation

Un permis d'exploitation sera également sollicité pour une durée de 30 ans à compter de la date de mise en service de la sonde verticale. Cette demande sera déposée avant expiration de l'autorisation de recherches.

Ce permis portera sur l'exploitation d'une sonde géothermique verticale de 300 m de profondeur pour répondre aux besoins exprimés préalablement.

Le périmètre demandé aura la forme du terrain propriété PRISER, cadastralement référencée sur la commune de Kersaint Plabennec ZL n°158.

Ce projet de périmètre est reporté sur la figure suivante :

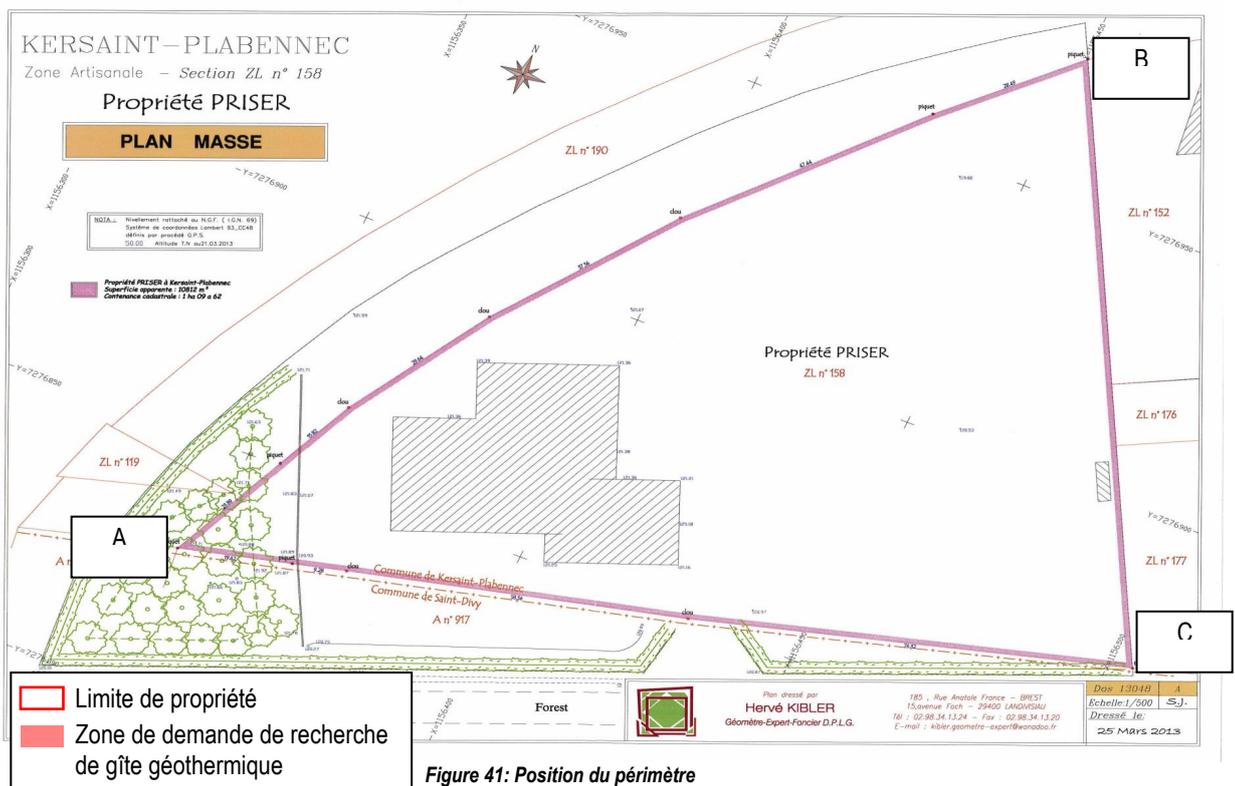


Figure 41: Position du périmètre

Point	X	Y
A	156475,27	6842811,64
B	156661,67	68300,64
C	156688,34	6842951,28

Tableau 11: Coordonnées des points du périmètre (Lambert 93)

Il concerne la commune de Kersaint Plabennec.

11. Arrêt de l'exploitation

S'il était décidé d'arrêter définitivement l'exploitation de la sonde géothermique profonde, celle-ci devra être condamnée. L'ouvrage étant cimenté à l'extrados du tubage acier mis en place sur toute la hauteur, l'abandon de la sonde géothermique consistera à combler l'intérieur du forage avec des matériaux inertes.

En cas d'arrêt définitif, le pétitionnaire adressera au Préfet une déclaration d'arrêt d'exploitation accompagnée d'une procédure d'abandon et de sécurisation.

Dans le cas de l'arrêt de l'exploitation de la sonde géothermique verticale, il est proposé le programme suivant :

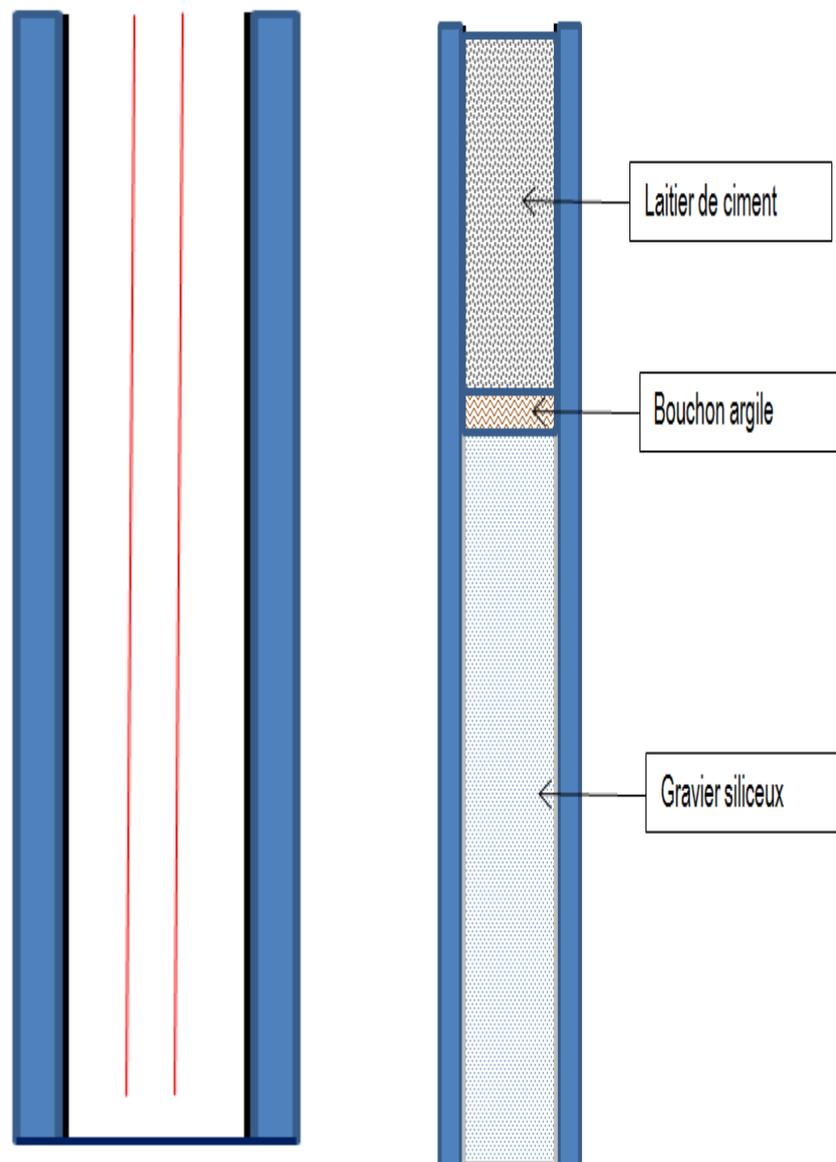


Figure 42 : Coupe technique de la sonde géothermique (à gauche : en exploitation, à droite : rebouchée)

- Extraction de la colonne acier 75 mm (si possible)

- Un remblayage du fond de l'ouvrage à l'aide d'un gravier siliceux propre et désinfecté du fond jusqu'à 50 m de profondeur,
- Un bouchon de type sobranite sur une hauteur de 5 m,
- Injection de laitier de ciment (d = 1,8).

Programme proposé :

- Amenée du matériel et installation,
- Contrôle du fond de l'ouvrage puis extraction si possible du tubage acier 75 mm,
- Remblayage du fond de l'ouvrage à l'aide d'un gravier siliceux propre et désinfecté;
- Mise en place d'un bouchon de sobranite sur 2 m d'épaisseur
- Descente des tiges à la cote voulue
- Injection du volume nécessaire de laitier de ciment (d = 1,8) pour combler le forage jusqu'à – 1 m/sol.
- Attente de prise 24 heures
- Complément si nécessaire
- Repli du matériel

En première approche, le coût d'un diagnostic et d'un rebouchage s'élève à 30 000 € HT (valeur mars 2018)

Rapport d'abandon:

Il sera établi un rapport détaillé comprenant :

- Le descriptif du matériel utilisé,
- Le détail des travaux (chronologie, quantités utilisées),
- Les copies des bordereaux matière.

Ces dispositions techniques interdiront tous risques de pollution des terrains que cela soit depuis la surface qu'en profondeur. Par conséquent, en cas d'abandon, l'opération ne peut porter atteinte aux milieux naturels notamment en ce qui concerne le sous-sol.

Références

[1] S. Gehlin. "Thermal Response Test", Doctoral Thesis, 2002, Department of Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Luleå, Suède.

[2] VDI 4640 Engineering Guideline : Thermal use of the underground. Part 1 : Fundamentals, approvals, environmental aspects. VDI Guideline, Allemagne, 2000.



5 RESULTATS DU TEST DE REPONSE

Les valeurs enregistrées sur place par le Data-Logger ont été utilisées pour effectuer l'interprétation des résultats du test de réponse.

Cette interprétation comprend notamment une analyse de l'évolution de la température du fluide par la méthode dite de la source linéaire de chaleur.

Au final, les résultats suivants peuvent être calculés :

- la température moyenne du terrain le long de la sonde avant le chauffage (T_i),
- la résistance thermique de la sonde (R_b),
- la conductivité thermique du terrain le long de la sonde (λ).

Les calculs ont été établis en prenant en compte les caractéristiques moyennes suivantes (Tableau 3) de l'essai:

Tableau 3. Caractéristiques prises en compte pour l'analyse des résultats.

Profondeur du forage	100 m
Diamètre moyen du forage	0.137 m
Longueur de la sonde	100 m
Type de sonde	Double U
Tube	Polyéthylène (PEHD) bleu
Diamètre externe tube	32 mm
Épaisseur paroi tube	2.9 mm
Matériau de remplissage	Coulis de Füllbinder (1'570 l)
Fluide caloporteur lors du test	Eau
Débit moyen lors du test	880 litre/h



5.1 Évolution des paramètres pendant le test de réponse

Les graphiques suivants ou de l'Annexe 1 montrent l'évolution, pendant le test de réponse thermique, des paramètres mesurés ou calculés pour les couches de sol traversées par la sonde géothermique testée sur une profondeur de 100 m:

- En phase initiale les températures de l'air à l'intérieur et à l'extérieur du module de chauffage, le débit ainsi que les températures "aller" et "retour" du fluide caloporteur sont mesurés. Cette phase est maintenue jusqu'à l'obtention d'une valeur constante des températures du fluide caloporteur (Annexe 1, page 1/2).

La température moyenne initiale (T_i) du terrain (Tableau 4) est calculée principalement à partir de ces valeurs.

- Ces mêmes paramètres sont également mesurés pendant la phase de chauffage (~2.9 kW). Une augmentation marquée de la température du fluide caloporteur est bien visible juste après la mise en marche du chauffage (phase transitoire) avant de passer à un "régime quasi-permanent" où les températures augmentent légèrement et de manière plus linéaire (Annexe 1, page 2/2).

C'est à partir de ces paramètres que seront calculées la conductivité thermique du terrain (λ) et la résistance thermique effective de la sonde (R_b).

- Par la suite, la puissance thermique est calculée puis comparée à la puissance électrique consommée par les corps de chauffe (Figure 8). Sur ce graphique figurent également la température moyenne du fluide caloporteur et la température de l'air extérieur.

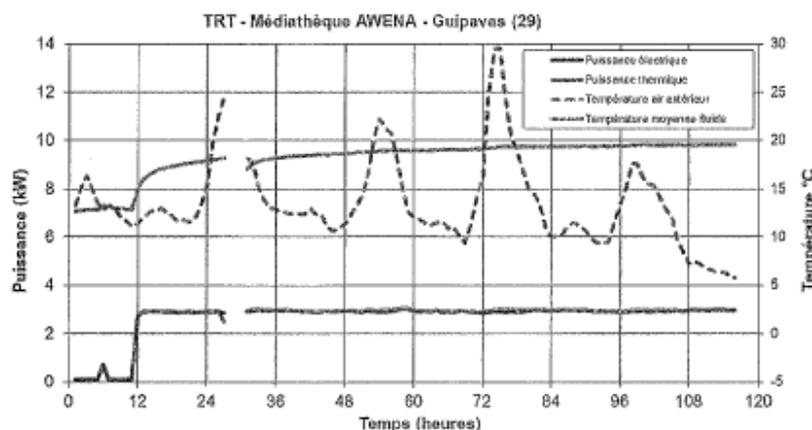


Figure 8. Évolution de la puissance électrique (mesurée), de la puissance thermique (calculée) et de la température moyenne au cours du test de réponse thermique du terrain.



A noter la parfaite correspondance entre la puissance électrique (mesurée) et thermique (calculée) ainsi que la régularité de la puissance électrique fournie. De ce fait les mesures de la température ont été utilisées sans aucune correction pour l'interprétation de ce test.

Sur ce graphique, les effets de la panne électrique du 23 avril 2013 sont bien visibles. Cette perturbation a été prise en compte lors de l'interprétation des mesures.

5.2 Détermination de la température initiale du terrain

Le calcul de la température moyenne initiale du terrain sans les effets thermiques de la pompe de circulation est obtenu en prenant en compte les paramètres suivants avec leurs incertitudes (Tableau 4):

Tableau 4. Paramètres pris en compte pour le calcul de la température initiale du terrain.

	Mesures /calculs	Erreur des paramètres	Unités	Erreur T_{terrain}
Température initiale du terrain avec puissance pompe	12.9	0.2	°C	0.2 °C
au temps t	10		heures	
Puissance thermique pompe	100	50	W	0.1 °C
Rb (résistance sonde)	0.086	0.01	K/(W/m)	0.1 °C
r_b (rayon sonde)	0.069	0.01	m	0 °C
λ terrain	2.82	0.2	W/(mK)	0.0 °C
ρ_{Cp} terrain	2.4		MJ/(m ³ K)	
$R_{\text{terrain}} = R_{\text{puisee}}$ (temps)	0.085		K/(W/m)	
T_{terrain} sans l'effet du chauffage dû à la pompe	12.7 °C			±0.2 °C

5.3 Détermination de la conductivité thermique λ

La méthode de calcul est basée sur la théorie de la source linéaire de chaleur développée par P. Eskilson et G. Hellström de l'Université de Lund (S); le calcul de λ est obtenu par régression linéaire de la courbe expérimentale.

Cette estimation de la conductivité thermique du terrain λ (W/mK) est effectuée en prenant en compte la longueur de la sonde géothermique, la puissance d'injection qui est restée globalement constante pendant le test et l'évolution de la température du fluide circulant dans la sonde.

Le graphique suivant (Figure 9) donne la valeur de la conductivité thermique déterminée par régression linéaire.

Les valeurs enregistrées avant la petite panne électrique ont été prises en compte pour l'interprétation des résultats. La détermination de la conductivité thermique est donc basée sur la courbe représentée sur le graphique ci-après.

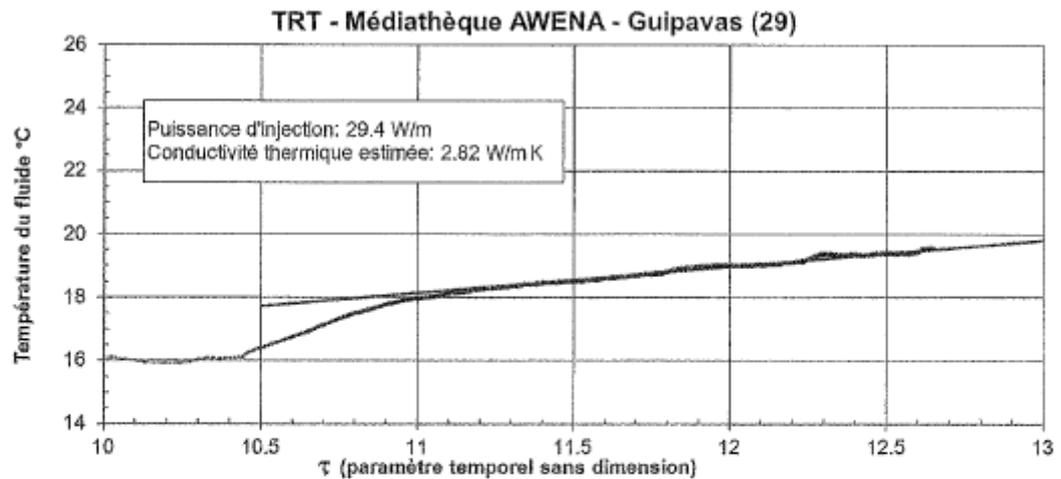


Figure 9. Détermination de la conductivité thermique λ .

5.4 Détermination de la résistance thermique effective de la sonde R_b

L'estimation de la résistance thermique effective d'une sonde géothermique R_b [K/(W/m)] est calculée à partir de la puissance transférée par mètre de sonde, pour chaque degré d'écart entre le fluide et le terrain sur le pourtour de la sonde géothermique. Cette résistance est influencée principalement par les paramètres suivants:

- la longueur de la sonde;
- la puissance d'injection (qui devrait rester la plus constante possible);
- la capacité thermique volumétrique du terrain;
- le diamètre du forage;
- la température initiale du terrain.

La résistance thermique de la sonde est la valeur moyenne des résistances calculées sur la période de chauffage prise en compte du test (Figure 10).

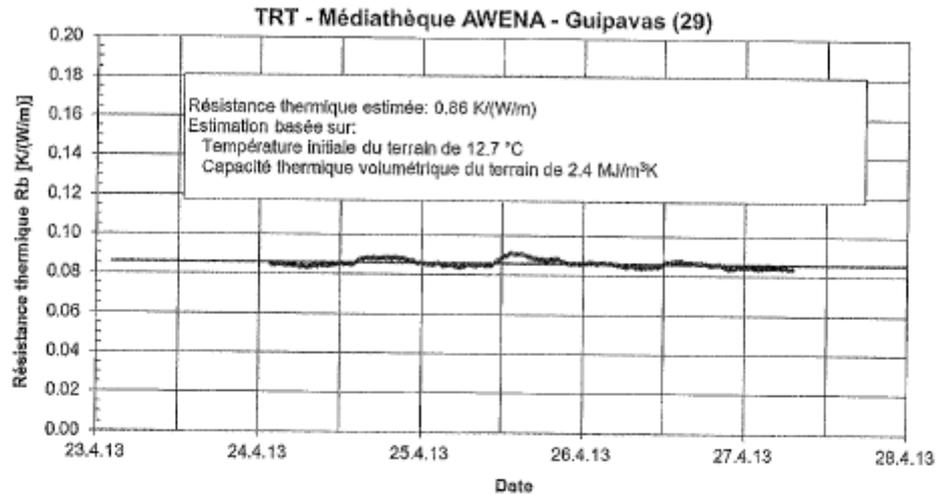


Figure 10. Détermination de la résistance thermique de la sonde R_b .

5.5 Résultats et incertitudes

Les erreurs sur l'estimation de la conductivité thermique du terrain et de la résistance thermique effective de la sonde (tableau 5) ont été évaluées en considérant les incertitudes sur les grandeurs suivantes:

- puissance thermique effectivement injectée dans le terrain
- facteur de perte thermique de l'équipement en surface
- longueur de la sonde
- rayon du forage
- température initiale du terrain
- capacité thermique volumétrique du terrain

Tableau 5. Détermination des erreurs et incertitudes sur les paramètres λ et R_b .

Grandeurs	Mesures/données	Erreurs	Erreurs λ W/(mK)	Erreurs R_b K/(W/m)
Puissance thermique injectée:	2.94 kW	-3% -	-0.12	0.002
Pertes thermiques équipement:	0 W/K	5 W/K	-0.03	0.001
Longueur sonde :	100 m	0.5 m	-0.01	0.001
Diamètre forage :	0.137 m	0.01 m	0	0.004
Température initiale terrain:	12.7 °C	0.2 K	0	-0.007
Capacité therm. volumétrique terrain:	2.40 MJ/m ³ K	0.5 MJ/m ³ K	0	0.005
		Estimation	Erreur	
Conductibilité thermique terrain λ		2.82 W/(mK)	±0.12 W/(mK)	
Résistance thermique effective de la sonde R_b		0.09 K/(W/m)	±0.01 K/(W/m)	



6 COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

Les résultats principaux de ce test de réponse thermique sont résumés ci-après :

Tableau 6. Résumé des résultats.

	Sonde SGV1
Température moyenne initiale de la couche de terrain ¹⁾	12.7 ± 0.2 [°C]
Conductibilité thermique moyenne de la couche de terrain ¹⁾	2.82 ± 0.12 [W/(m·K)]
Résistance thermique effective de la sonde dans les conditions du test et pour un Ø moyen de 137 mm	0.09 ± 0.01 [K/(W/m)]

1) sur les premiers 100 m de profondeur du terrain

Les valeurs du Tableau 6 sont valables pour les conditions d'un test réalisé avec un régime d'écoulement non-laminaire et un débit moyen de 0.88 m³/heure.

De l'eau pure a été utilisée pour la réalisation de ce test de réponse thermique du terrain. S'il est prévu de faire circuler un mélange d'eau et d'antigel comme fluide caloporteur, il faut probablement s'attendre à avoir un régime d'écoulement laminaire dans les tubes. Cet effet se répercutera sur la résistance thermique effective moyenne des sondes géothermiques (R_b) qui prendra une valeur plus élevée. Le dimensionnement du système énergétique devra alors tenir compte de cet effet.

Pour les besoins du dimensionnement du système énergétique final, il est recommandé de se baser sur les valeurs les plus pessimistes de la conductivité thermique et des caractéristiques thermiques suivantes:

Tableau 7. Valeurs de dimensionnement.

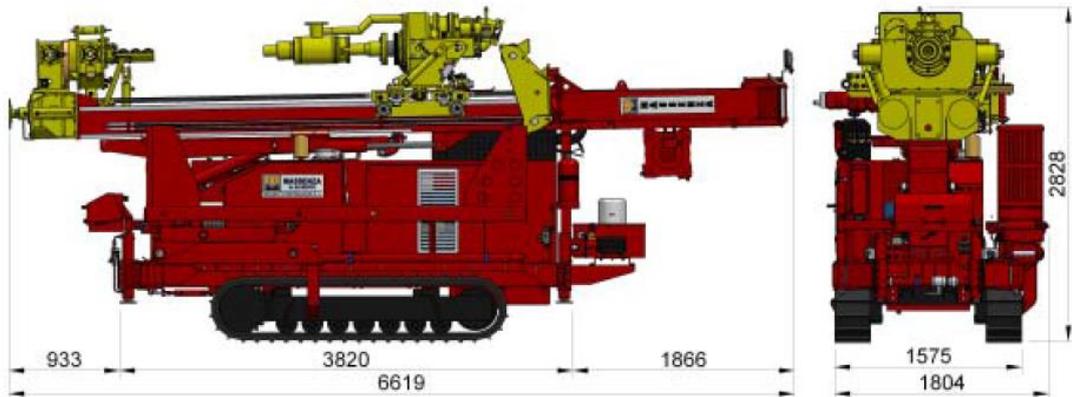
	SGV1
• Conductivité thermique de dimensionnement:	$\lambda = 2.70$ [W/(m·K)]
• Température initiale du terrain:	$T_i = 12.7$ [°C]
• Résistance thermique effective moyenne: (dans les conditions du test)	$R_b = 0.09$ [K/(W/m)]

Swiss Geo Testing Sàrl

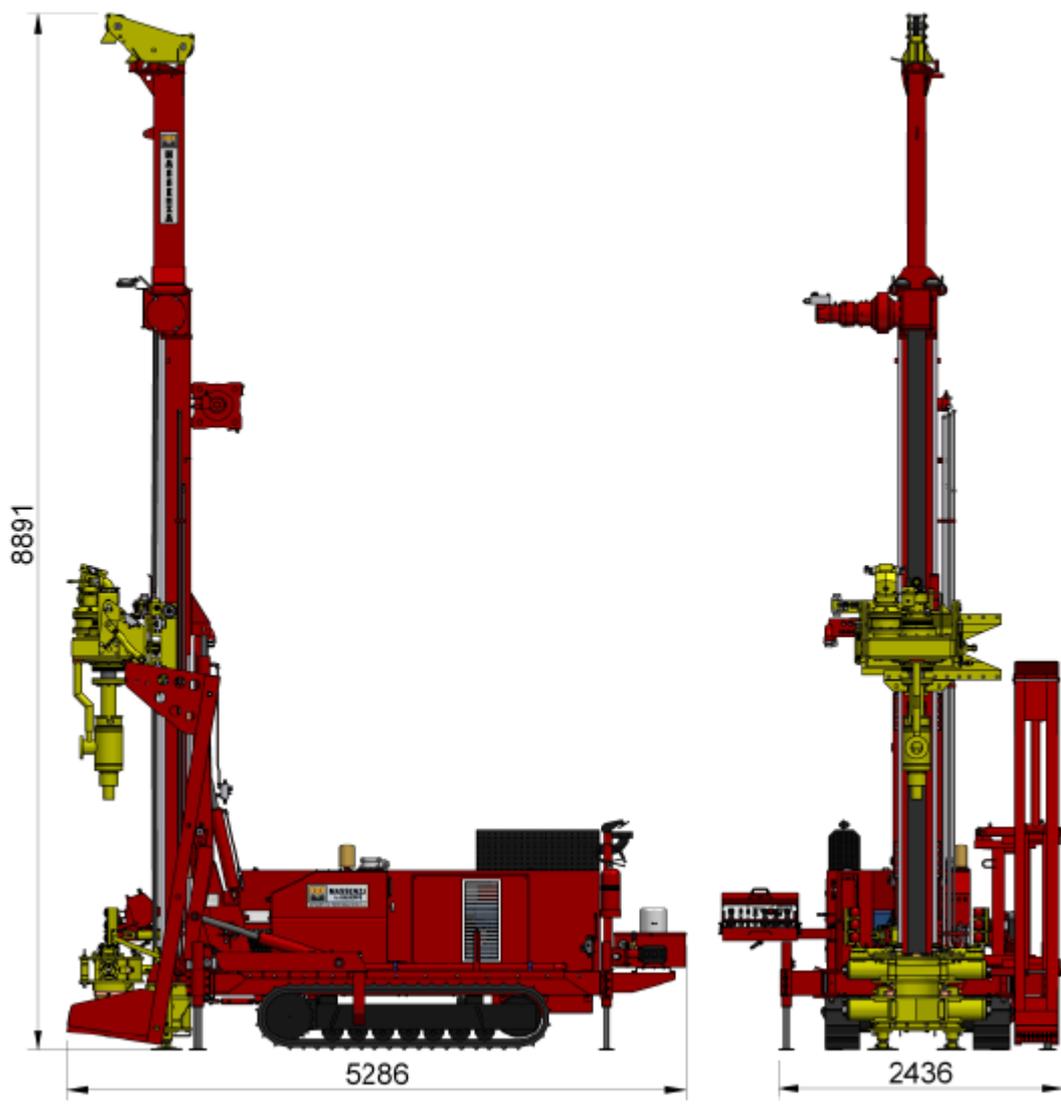
G. Steinmann
Ing. civil Reg-A

Annexes mentionnées

ANNEXE 3 : Fiches techniques atelier de forage et compresseur



Type:	Foreuse à actionnement hydraulique	
Modèle:	M.I.8	
Forage:	Rotation à circulation directe, destruction du noyau avec curage à eau, boue, air mousse.	
Tour :	Type en caisson	
Capacité max.:		120 KN
Hauteur:		6 m
Moufle fixe:	Une seule poulie	
Capacité max.:		90 KN
Tirage et poussée:	Par motoréducteur et chaînes	
Tirage et poussée max. (de crête):		90 KN
Tirage et poussée max. (exercice, poids max. batterie de forage):		60 KN
Course max. (tiges de 4m):		4,1 m
Moteur auxiliaire:		
Diesel		
Puissance max.:		156 Hp (115 kW)
Mors hydraulique:		
Diamètre max. passage:		360 mm
Diamètre min. serrage:		76 mm
Force max. serrage:		170 KN
Couple min. dévissage:		23500 Nm
Treuil de manoeuvre:	Montée et descente contrôlée	
Tirage direct max de crête (1° couche):		31 KN
Tirage direct max d'exerc. (1° couche):		22 KN



Atlas Copco Portable Air compressors

Highest productivity under all circumstances



XRVS 336 XRVS 476

Atlas Copco is the leading manufacturer of portable compressed air machines in the world. Used in a wide variety of industries, Atlas Copco has developed a set of machines that successfully walk the line between size, output and capacity.

Drilling is a high intensity business where every second counts, and there is no room for error or failure. The 25 Bar machines from Atlas Copco are the most durable and robust machines in their class, and as such they lead the industry. These machines are flexible and multi-purpose: from demanding large rotary blast holes, deep-hole drilling to large diameter pipeline cleaning. Adapted to working in difficult conditions and extreme temperatures, they are the natural choice for deep-hole drillers and the Oil & Gas industry.



Atlas Copco

Atlas Copco compressors deliver high levels of pressure in the most efficient way – with the right capacity, at the right speed, and the best fuel economy. They are by far, the most cost effective air compressors on the market. Not only is fuel consumption optimised with the exclusive FuelXpert™ system, but components last longer thanks to Oiltronix technology.

Safety is paramount for all Atlas Copco equipment. It's safe for the operator and those around the machines when they are in use (reduced noise levels, air release valves, emergency stops); safety is vital while they are in transit (towing, loading and lifting); and safety is priority when it comes to the environment (best fuel consumption, long lasting parts).

Above all though, Atlas Copco compressors are built for reliability and simple easy maintenance, and many years of loyal and trouble free service.



Technical Data

Type		XRVS 336	XRVS 476
Normal effective working pressure	bar(e)	25	25
	psi	362	362
	l/sec	328	460
	cfm	695	974
Actual free air delivery*	m ³ /min	19.7	27.6
Oil capacity compressor system	l	75	75
Content fuel tank (standard)	l	538	796
Air outlet valve		1x2"	1x2"

Engine Caterpillar

Type		C9 ACERT IS	C13 ACERT TI
Output	kW	224	318
Engine speed (nominal)	rpm	1800	1600
Engine speed (unloaded)	rpm	1300	1200

Unit dimensions (overall)

	m	4.9	4.9
Length (wagon, towbar raised)			
Length (tandem)		5.65	5.65
Length (skid, support mounted)		4.05	4.05
Width		2.15	2.15
Height (wagon, tandem)		2.50	2.50
Height (support)		2.25	2.25
Height (skid)		2.41	2.41

Weight (without fuel)

	kg	5770	6150
Wagon			
Support mounted (option big fueltank)		5120/5250	5620/5750
Skid (option big fueltank)		5380/5510	5880/6010

Sound level

	dB(A)	100	100
Sound power level (LWA)**			
Sound pressure level (LPA)			
at 7m acc. to ISO 2151		72	72

*according to ISO1217 ed.3 1996 annex D

**complies with 2000/14/EC, 84/533/EEC AND 85/406/EEC limits

Features

- Safety features as pressure displays, emergency stop and spill free frame
- FuelXpert™ for optimised fuel consumption
- Oiltronix™ for longer lasting components
- Ready to drill package with a full range of options for all operating conditions.
- Fast speed tandem or wagon trailer
- Truck or skid mounted version
- Best for use in all weather conditions (-25°C to +50°C)
- Cosmos™

Advantages

- Operator and environmental safe
- Lowest total cost of ownership
- Best fuel consumption in class
- Delivers full range of drilling and hole options
- Rugged frame built to last
- Best fuel autonomy for complete working shift

Atlas Copco

Never use compressed air as breathing air without prior purification in accordance with local legislation and standards.



www.atlascopco.com

ANNEXE 4 : Bilan comptable (3 derniers exercices)