



arverne
— V — GEOTHERMAL
—

Demande d'octroi d'un Permis Exclusif de Recherches de gîtes géothermiques dit « Les sources »



Résumé Non-Technique
Mémoire Technique et Justification des Limites ;
Étude d'Impacts sur l'environnement et la ressource
en eau

Rédaction du document

Référence interne	Date	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
8_ADM_PER_LES_SOURCES_Résumé	24/12/2020	Abigaëlle PETERSCHMITT Alexandre RICHARD	Damien BEVILLON	Pierre BROSSOLLET

Diffusion du document

Date	Destinataire	Organisme	Version numérique	Version papier
24/12/2020	Hoang BUI	Direction Générale de l'Énergie et du Climat	1	0
24/12/2020	Armelle BALIAN	Direction Générale de l'Énergie et du Climat	1	0

ARVERNE GEOTHERMAL
16 rue des Couturières
67240 Bischwiller
geothermie@arverne.earth

Table des matières

1	Préambule	11
1.1	Arverne Drilling	12
1.2	Arverne Ressources	12
1.3	Arverne Geothermal.....	12
2	Projet d'Arverne Geothermal	13
2.1	Introduction	13
3	Permis sollicité dit « Les Sources »	19
3.1	Localisation géographique et histoire	19
4	Zones d'intérêt	23
4.1	Zone d'intérêt 1.....	25
4.2	Zone d'intérêt 2.....	26
4.3	Zone d'intérêt 3.....	27
4.4	Zone d'intérêt 4.....	28
5	Les techniques d'exploration.....	29
5.1	Imagerie sismique.....	29
5.2	Forages de gradient	30
5.3	Forage exploratoire	31
5.4	Monitoring de la sismicité naturelle et induite	32
6	Contexte environnemental de l'étude.....	35
7	Scénario de référence : état initial	39
8	Évolution probable de l'environnement en cas de mise en œuvre ou en l'absence de mise en œuvre du projet	41
9	Facteurs environnementaux susceptibles d'être affectés de manière notable par le projet.....	43

Table des illustrations

Figure 1 : Organigramme, descriptif des missions et historique de création du groupe Arverne. (Source : Arverne Group)	11
Figure 2 : Cycle de vie d'un projet de géothermie profonde. (Source : Arverne Geothermal)	13
Figure 3 : Schéma du principe de boucle géothermale en circuit fermée permettant d'extraire les calories de l'eau géothermal à des profondeurs pour lesquelles les forages et la caractérisation réservoir sont maîtrisés. (Source : Arverne Geothermal)	15
Figure 4 : Carte du Permis Exclusif de Recherche sollicité par Arverne Geothermal. Ce PER est dénommé « Les sources » en référence aux 2 seuls sources thermales d'Alsace du nord, toutes deux présentes au sein de l'emprise. (Source : Arverne Geothermal)	16
Figure 5 : Logs litho stratigraphique de puits d'eau et de pétrole sur l'emprise du PER sollicité. (Source : Arverne Geothermal)	17
Figure 6 : Utilisations de la chaleur géothermale (Source : BRGM, redessiné par Arverne Geothermal)	18
Figure 7 : Coupe schématique Ouest/Est (Source : D'après un dessin de Düringer, 2013)	19
Figure 8 : Carte Géologique du PER sollicité (Source : BRGM)	21
Figure 9 : Enjeux Paysagers - Piémont Nord (Source : OTE Ingénierie)	36
Figure 10 : Enjeux Paysagers - Forêt de Haguenau (Source : OTE ingénierie)	37
Figure 11 Sols pollués (Source : Géorisques / OTE Ingénierie)	40

Table des tableaux

Tableau 1 : État actuel et qualité de l'environnement sur le Permis Exclusif de Recherches sollicité. (Source : OTE ingénierie)	40
Tableau 2 : Évolution probable de l'environnement avec et sans le projet de géothermie profonde porté par Arverne Geothermal. (Source : OTE ingénierie)	42
Tableau 3 : Facteurs environnementaux susceptibles d'être affectés de manière notable par le projet. (Source : OTE ingénierie)	43

1 Préambule

Fondé en mars 2019, ARVERNE est une entreprise née dans la transition énergétique. Son métier est le sous-sol, son ADN l'innovation. Arverne se veut pleinement engagée dans la plus grande aventure du XXI^e siècle : décarboner l'économie et transformer l'énergie en valeur ajoutée là où elle est produite

- › En rendant accessible à l'Homme les richesses de la géothermie, chaleur naturelle et inépuisable enfouie au cœur de notre planète
- › En développant de nouveaux concepts pour la production de géo-énergies.

Arverne a pour mission de relever un défi : réussir la transition énergétique sans compromettre le progrès ni entraver la prospérité de nos économies.

ARVERNE GROUP SAS est organisé en trois filiales détenues à 100% par ARVERNE, diversifiées et complémentaires (Figure 1).

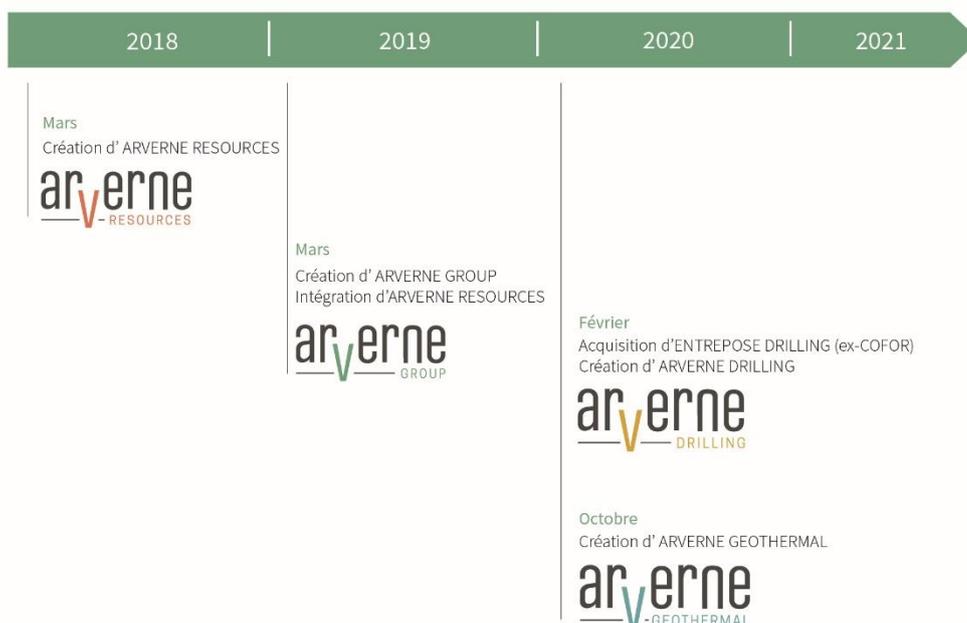


Figure 1 : Organigramme, descriptif des missions et historique de création du groupe Arverne. (Source : Arverne Group)

1.1 Arverne Drilling

Arverne Drilling SAS est une filiale 100% Arverne Group depuis le 26 Février 2020. Avec plus de 1000 puits forés à travers le monde (sous les appellations COFOR puis Entrepose Drilling) et une expérience capitalisée de plus de 60 ans dans les travaux sur puits (forage, work-over, abandon de puits, services intégrés), Arverne Drilling est l'outil industriel au service des projets du groupe.

Arverne Drilling est implantée à Pau (64) et sa base logistique est située à Maisse (91). En prévision de la croissance pour les prochaines années, une nouvelle base logistique est actuellement en construction dans la périphérie de Pau. Son effectif actuel est de 53 personnes administrativement rattachées en région Nouvelle Aquitaine. Sa flotte opérationnelle est composée de 6 appareils de forage, parmi lesquels le MR8000 ayant réalisé plus de 24 puits de géothermie depuis 2010, et les rigs HH102a, HH102b et HH220, appareils hydrauliques compacts de dernière génération.

Arverne Drilling représente un atout indéniable pour l'activité géothermie du groupe. En effet, en intégrant l'outil de forage au sein du groupe, un effort substantiel de mutualisation, de formations et d'échanges techniques permettront de mieux maîtriser un des principaux aléas, à la fois technique et financier que représente la phase forage d'un projet de géothermie profonde.

1.2 Arverne Resources

Arverne Resources SAS est une filiale 100% Arverne Group depuis Mars 2018. La vocation de cette filiale, implantée à PAU est de prévoir une transition des champs fossiles hydrocarbonés à une ère décarbonée. Pour ce faire, l'équipe d'ingénieurs réservoir travaille à la réhabilitation de champs matures en proposant une vision et un programme post production des matières fossiles. Les échanges interdisciplinaires avec Arverne Geothermal permettra, d'une part de faire bénéficier la filière géothermie de toute l'expertise O&G dans l'analyse et la gestion d'un réservoir et d'autre part dans un échange réciproque, de faire bénéficier la filière O&G de l'expertise géothermique pour l'exploitation de l'eau géothermale fréquemment produite à la fin de vie d'un forage pétrolier.

1.3 Arverne Geothermal

Dernière filiale créée en Octobre 2020, Arverne Geothermal apparait comme le démonstrateur de la volonté de transition écologique de l'énergie selon la vision d'Arverne Group. Implanté en Alsace, à Bischwiller, elle aura comme mission de rapidement mettre en exergue et à disposition le potentiel géothermique chaleur qui demeure jusqu'à présent très insuffisamment développé en France métropolitaine et dans les DOM – TOM. Forte d'une équipe ayant déjà activement contribué à l'émergence de cette filière, l'apport des filiales du groupe Arverne aura comme effet de permettre une standardisation au sein de la méthodologie qui sera mise en œuvre pour développer l'activité de production de chaleur.

2 Projet d'Arverne Geothermal

2.1 Introduction

La géothermie est l'énergie naturelle stockée sous forme de chaleur dans le sol. Elle est renouvelable, indépendante des conditions climatiques, disponible 24h/24 et décarbonée. De récentes études ont également montré que l'utilisation de chaleur géothermale permet de réduire jusqu'à 40 fois la production de CO2 (Ravier et al, 2020) par rapport à une production équivalente en chaleur gaz.

Tout au long de la vie d'une centrale de géothermie, de l'exploration à l'exploitation, les études et travaux sont encadrés par le code minier et ses décrets d'application, ainsi que par tous les autres codes qui y sont reliés (code de l'environnement, code du travail, etc.). Le fonctionnement d'une centrale de géothermie chaleur est similaire au fonctionnement d'une installation industrielle non classée au titre de l'environnement, soumis à des études d'impacts, de risques, et de mesures de mitigation de ces derniers. Lors de la phase d'exploration, les actions sur le terrain sont encadrées par des déclarations ou des demandes d'ouverture de travaux miniers, soumis à autorisation de la préfecture.

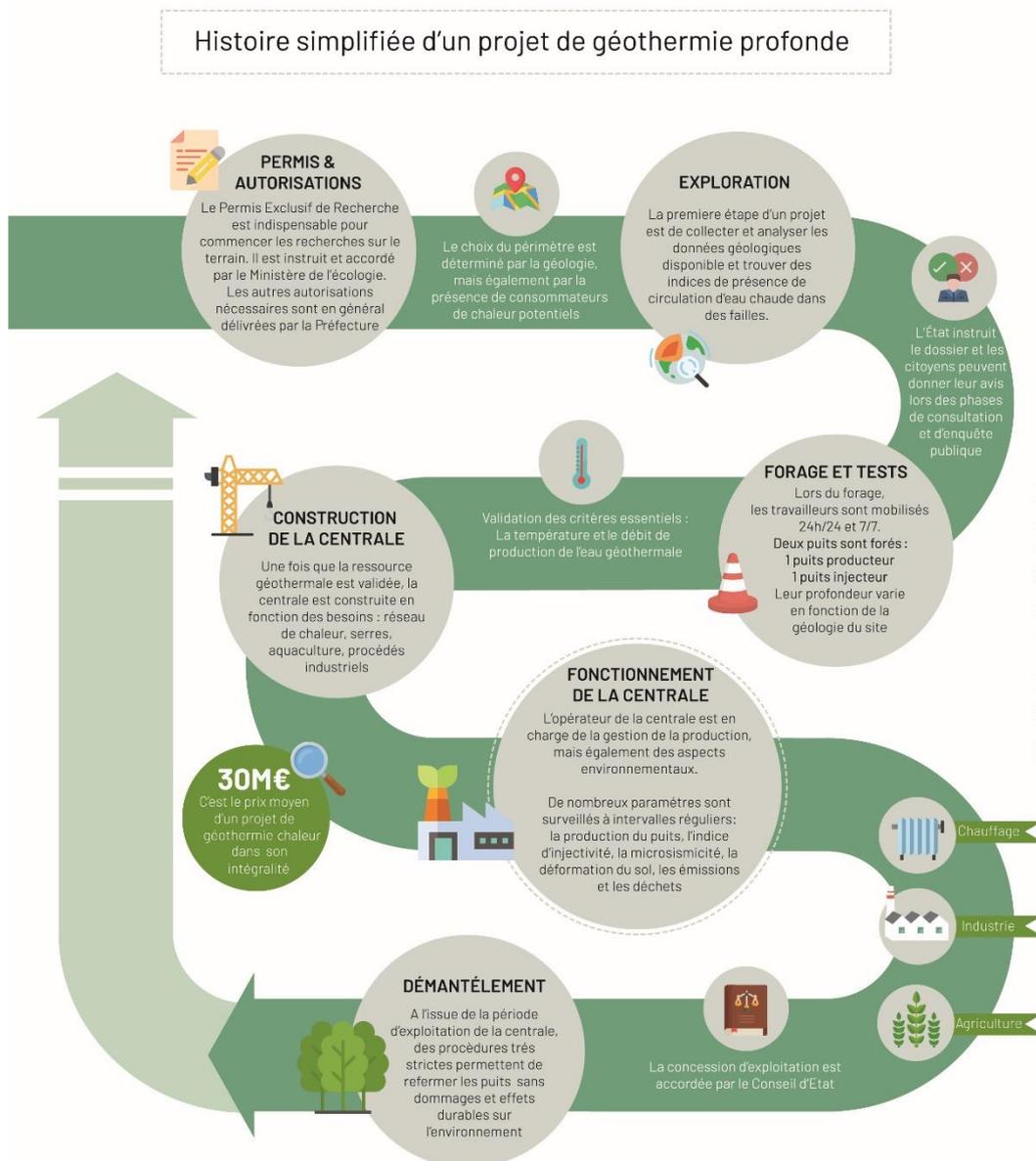


Figure 2 : Cycle de vie d'un projet de géothermie profonde. (Source : Arverne Geothermal)

De nombreux indices et études géologiques ainsi que des projets précédemment réalisés à proximité du périmètre sollicité ont démontré une anomalie du gradient géothermique dans le Nord de l'Alsace allant jusqu'à 150°C à 1 500m de profondeur. L'eau géothermale (saumure) circule naturellement dans des failles perméables au sein des couches du trias et au sein du socle cristallin. Cette eau géothermale, dont la température varie en fonction de la profondeur à laquelle elle est produite (entre 25°C et 140°C), peut être utilisée pour un panel très large d'utilisations, avant d'être réinjectée dans l'horizon géologique où elle a été prélevée (Figure 3). L'objectif de ce Permis Exclusif de Recherche est donc d'effectuer des opérations de recherches exploratoire, en vue de déterminer des cibles géothermales permettant de mener à bien des projets de distribution de chaleur à des consommateurs multiples dans le périmètre proche des futurs puits.

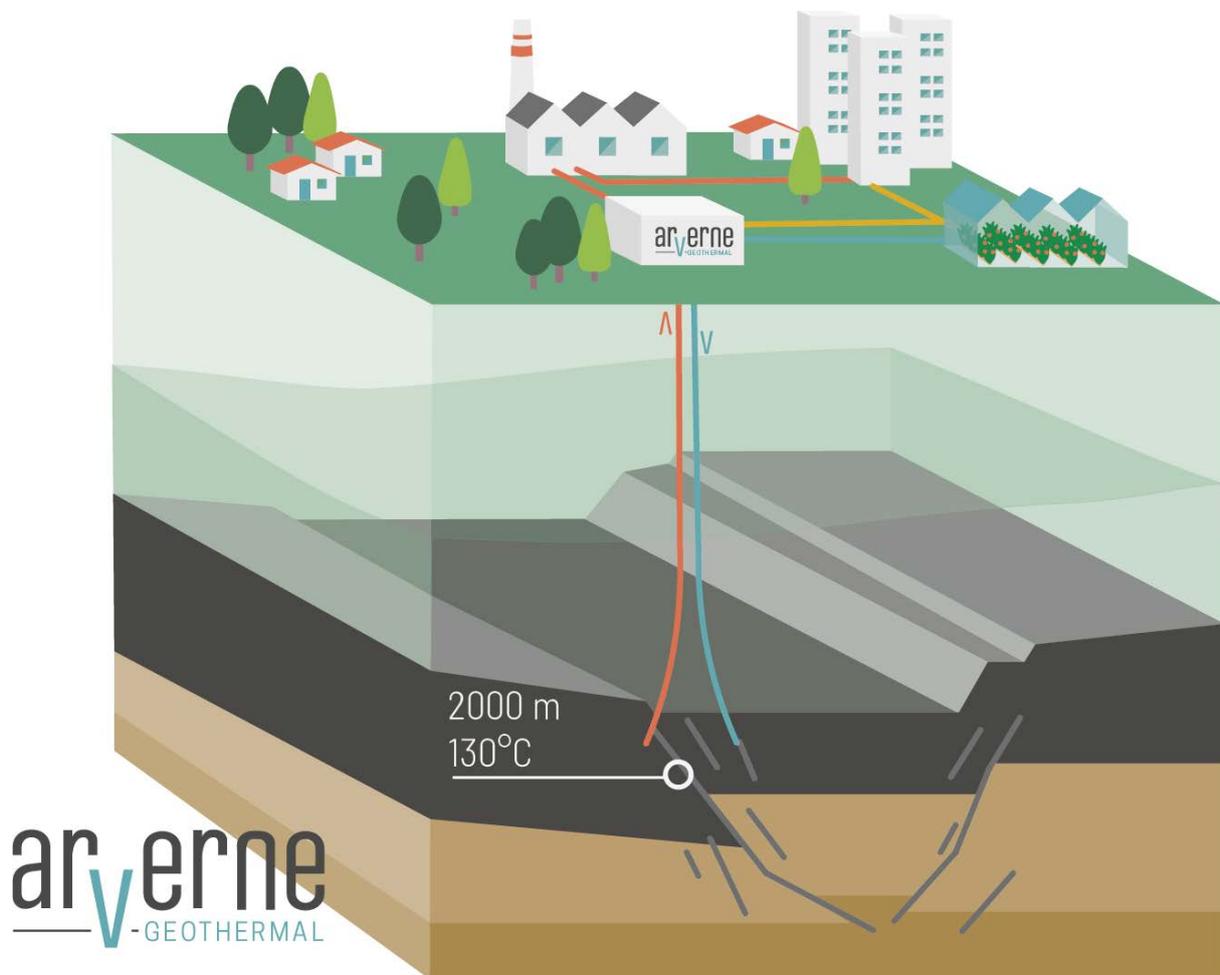


Figure 3 : Schéma du principe de boucle géothermale en circuit fermé permettant d'extraire les calories de l'eau géothermale à des profondeurs pour lesquelles les forages et la caractérisation réservoir sont maîtrisés.

(Source : Arverne Geothermal)

Le périmètre sollicité est situé dans le Nord de l'Alsace, sur une superficie approximative de 170 km² (Figure 4). Il est situé dans le piémont des Vosges du Nord, réputé pour son parc naturel et ses eaux thermales dont certaines sources chaudes (Morsbronn-les-Bains et Niederbronn-les-Bains) représentent un indice certain de circulation d'eau chaude en profondeur, et dont le présent PER tire son appellation.

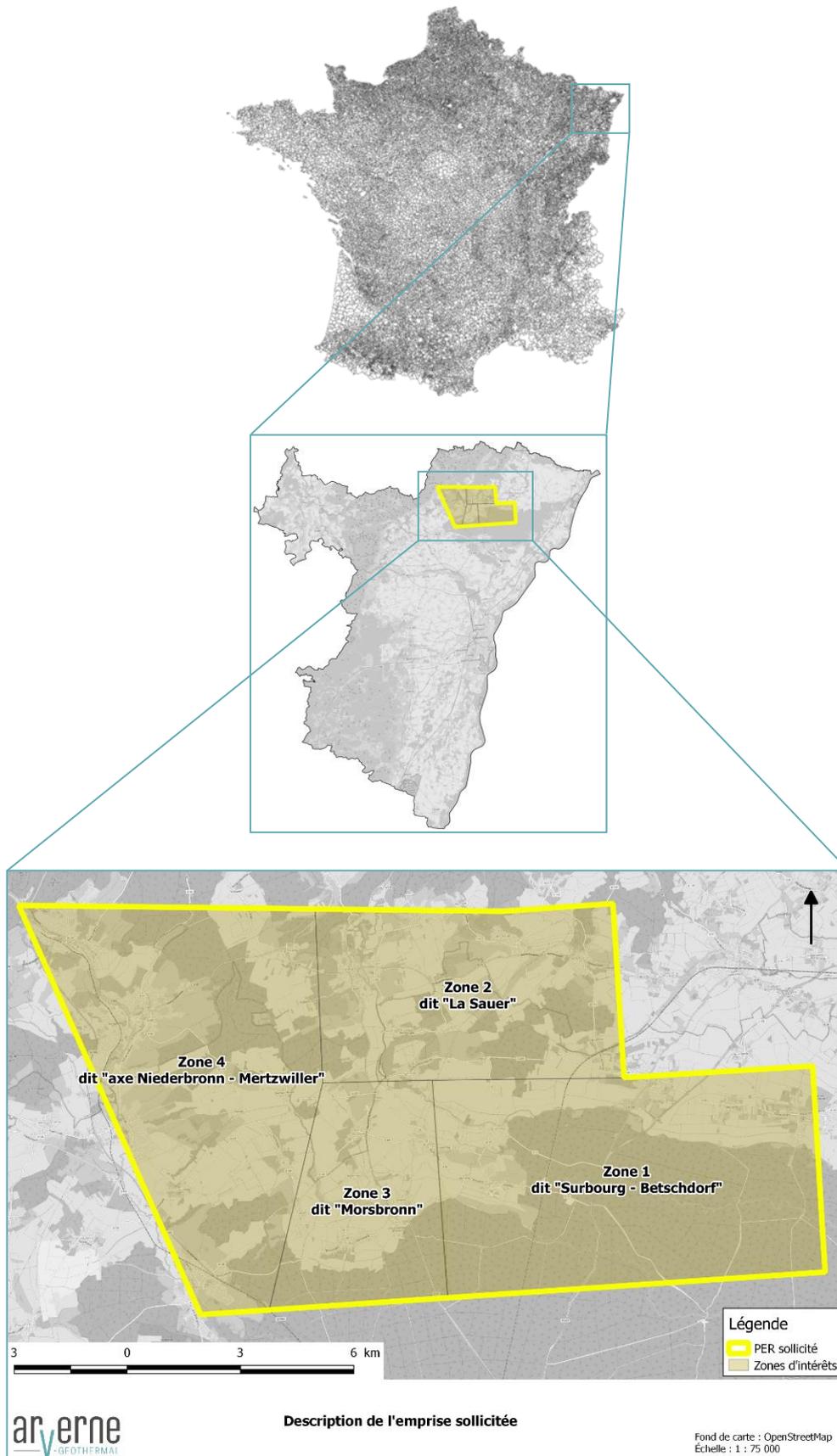


Figure 4 : Carte du Permis Exclusif de Recherche sollicité par Arverne Geothermal. Ce PER est dénommé « Les sources » en référence aux 2 seuls sources thermales d'Alsace du nord, toutes deux présentes au sein de l'emprise.
(Source : Arverne Geothermal)

Arverne Geothermal souhaitant uniquement produire de la chaleur à visée principalement industrielle, les forages demeureront à des profondeurs pour lesquelles d'une part, les connaissances sous-sol actuelles, complétées notamment par un programme exploratoire en imagerie sismique, permettent de convenablement identifier les structures ciblées et d'autre part, de mettre en œuvre des programmes de forages maintes fois éprouvés et bien maîtrisés par les équipes d'Arverne Drilling.

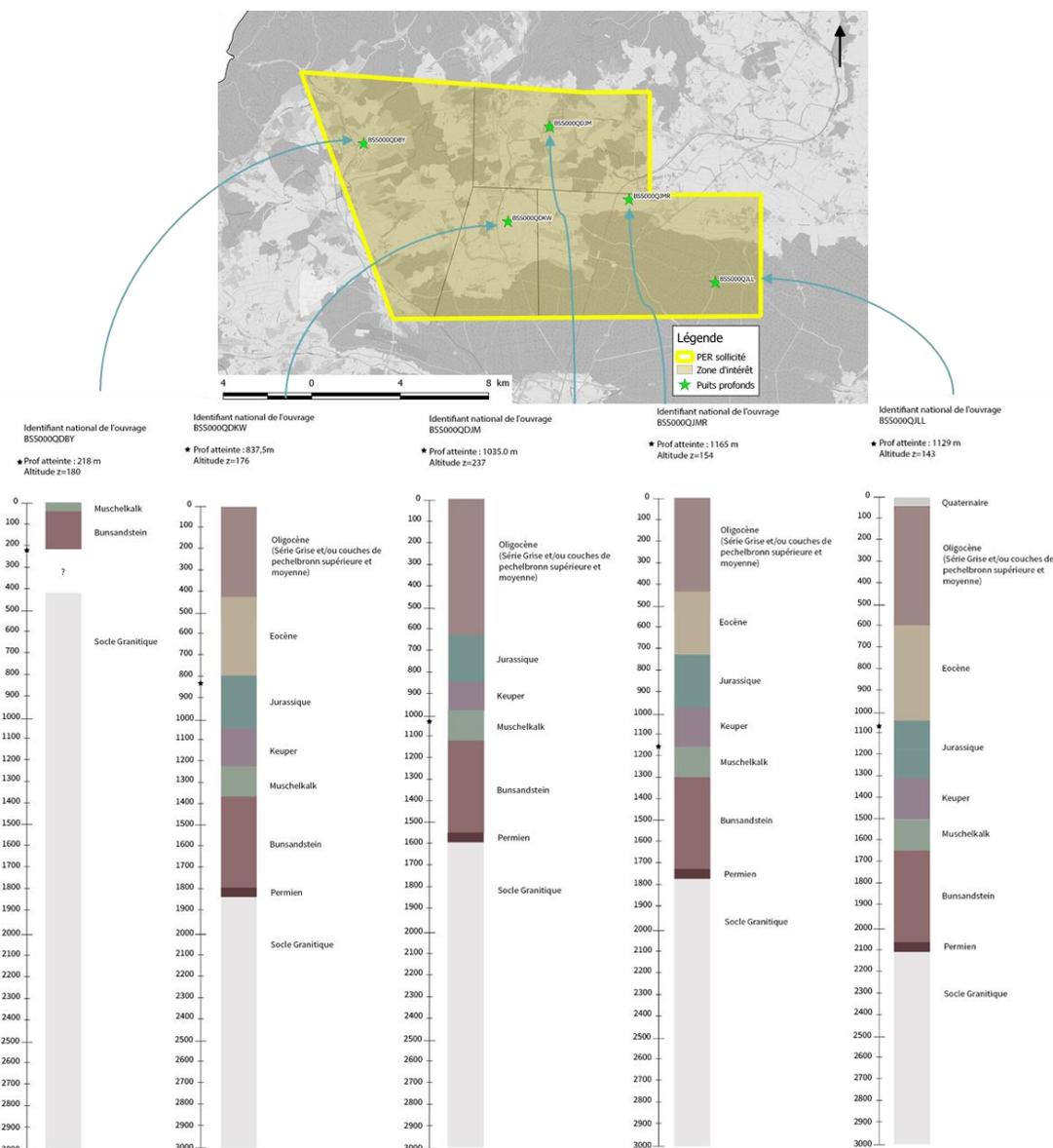


Figure 5 : Logs litho stratigraphique de puits d'eau et de pétrole sur l'emprise du PER sollicité. (Source : Arverne Geothermal)

Le projet proposé dans le cadre de ce PER possède la particularité d'avoir dans son périmètre plusieurs potentiels allant de la géothermie sur sondes à la géothermie profonde en passant par la géothermie sur aquifère. Le territoire sollicité a donc été divisé en 4 zones géographiques comme illustré sur la Figure 4, présentant chacune des intérêts géologiques et/ou économiques ainsi qu'un fort potentiel géothermique, qui sont détaillées dans le document « 3. Mémoire Technique et Justification des Limites ». Chaque zone fera l'objet d'une attention particulière et d'un programme de développement qui mettra en exergue ce que le sous-sol peut apporter localement.

La phase d'exploration comportera plusieurs étapes et opérations, décrites en détail dans le document « 4. Programme des Travaux et Engagement Financier », et a pour but de trouver de l'eau chaude ayant une température aux environs de 130°C pour un débit de production de 250m³/h pour une profondeur verticale n'excédant pas 3 000 m (Figure 5). Ces caractéristiques permettront une utilisation de la ressource en cascade,

avant réinjection en dessous de 50°C. Une étape importante du projet est de trouver des consommateurs de cette chaleur et à terme, de construire un réseau de chaleur associé permettant la valorisation directe de la chaleur naturelle, disponible et décarbonée.

Les utilisations possibles de la géothermie chaleur sont multiples et variées (Figure 6) recouvrant une large gamme de températures.

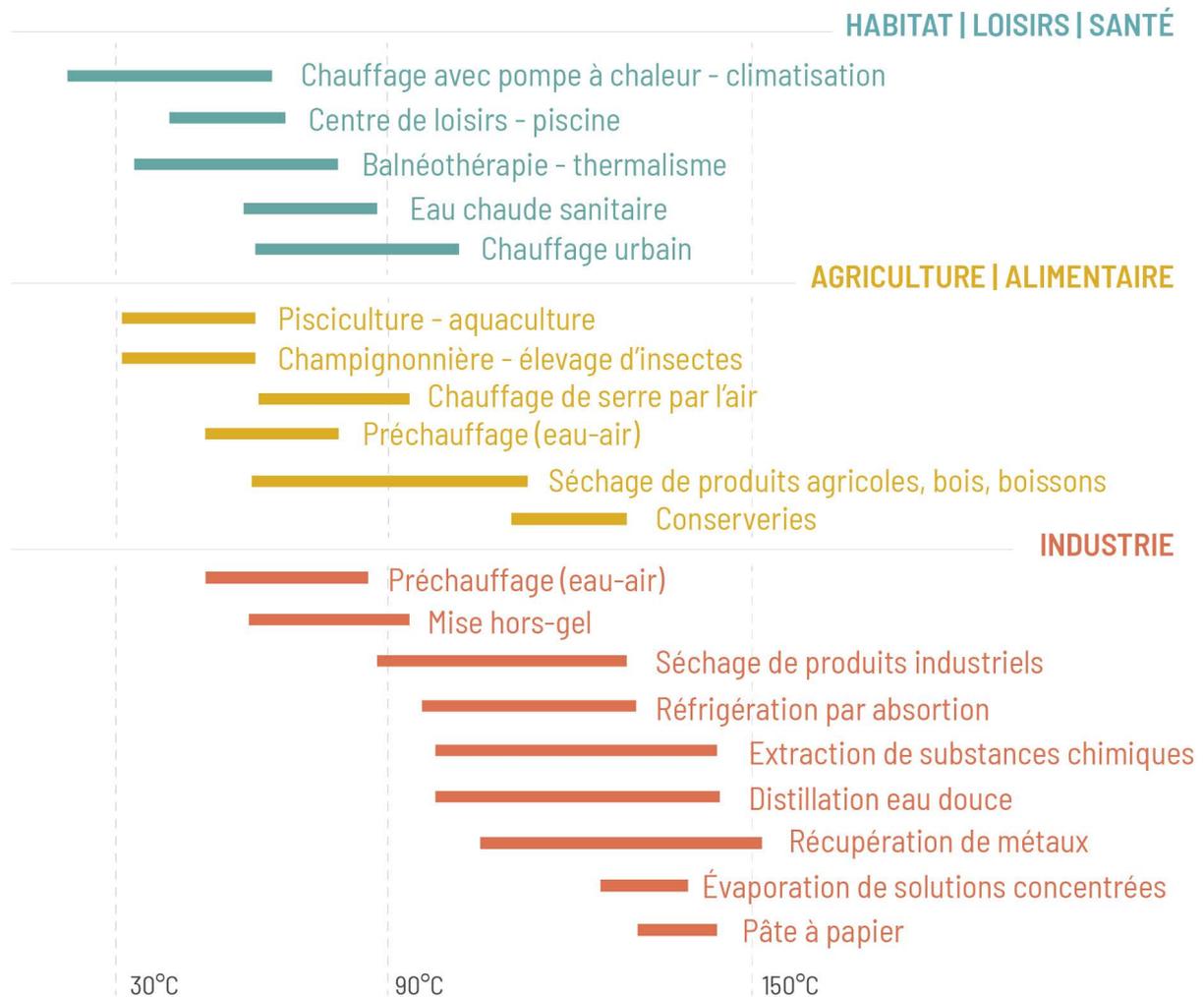


Figure 6 : Utilisations de la chaleur géothermale (Source : BRGM, redessiné par Arverne Geothermal)

3 Permis sollicité dit « Les Sources »

3.1 Localisation géographique et histoire

Le permis sollicité est situé dans la partie Nord-Ouest du Fossé Rhénan, à la fois sur les sous-collines des Vosges du Nord et dans la plaine d'Alsace (Figure 7).

La partie Est du permis sollicité fait partie du Bassin Rhénan et comprend le remplissage sédimentaire qui y est lié, composé de Grès, de Calcaire, d'Argiles et de Marnes salifères, et de couches riches en fossiles, mais également en hydrocarbures.

La surface du PER est bordée à l'Ouest par la Faille Vosgienne et comprend le début du champ de fractures dit « champ de fractures de Saverne ». Cette zone très faillée explique la mosaïque de couleurs de la carte géologique (Figure 8), correspondant à des couches géologiques différentes qui peuvent être observées à la surface. Le remplissage sédimentaire du fossé laisse alors place aux calcaires du Jurassique et aux grès du Trias, que l'on peut observer lorsque l'on prend un peu d'altitude dans le Massif des Vosges du Nord.

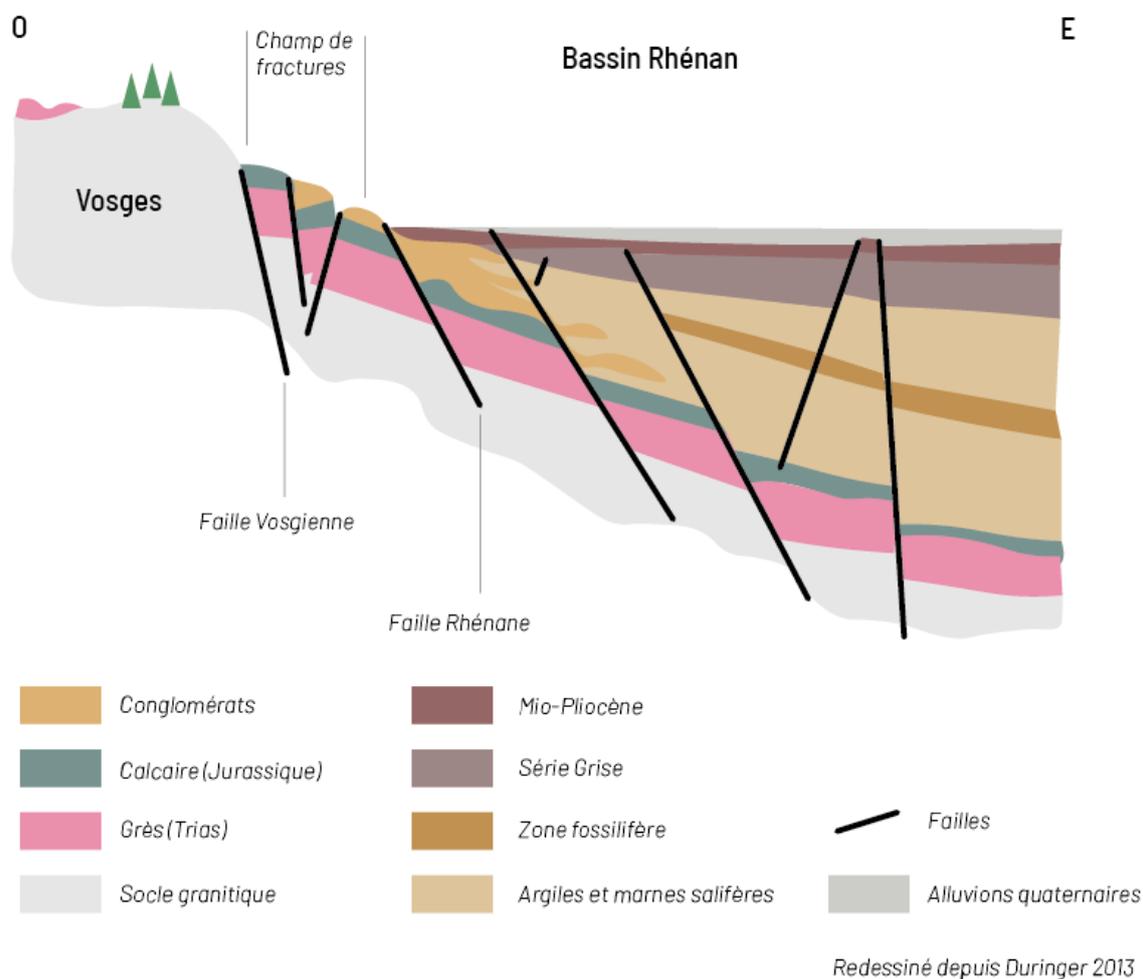


Figure 7 : Coupe schématique Ouest/Est (Source : D'après un dessin de Düringer, 2013)

Le PER sollicité se situe dans un territoire témoin depuis plusieurs décennies de recherches géologiques et minières, pour le sel du Moyen-Age au 19^{ème} siècle, puis pour le pétrole de la fin du 19^{ème} au milieu du 20^{ème} siècle et enfin pour la géothermie profonde à Soultz-sous-Forêts à partir de 1987. Le choix du site pilote de Soultz-sous-Forêts pour le projet de recherche en géothermie profonde est directement lié à l'histoire pétrolière de la localité de Merkwiller-Pechelbronn et de ses environs. L'exploitation de pétrole, par galeries puis par puits jusque dans les années 70, a permis d'identifier des indices probants d'une anomalie du gradient

géothermique de la région : d'une moyenne de 3°C tous les 100 mètres dans la croûte continentale, certaines couches géologiques, riches en hydrocarbures ont un gradient géothermique avoisinant 100 °C/km. De nombreuses campagnes d'exploration pétrolière, notamment par le forage de puits, mais aussi de campagne de sismique ont eu lieu dans la région. Ces campagnes ont également montré la présence de failles, dans lesquelles la circulation d'eau géothermale a été prouvée à Soultz-sous-Forêts et plus récemment à Rittershoffen dans le cadre de projets de géothermie, l'un pour la production d'électricité, l'autre pour la production de chaleur. Les données récoltées sont pour la plupart conservées dans la banque de données du sous-sol du BRGM et permettent d'avoir des informations précieuses sur les indices de la présence d'eau chaude en profondeur.

Arverne Geothermal, dans les recherches préalables à la construction de ce dossier, a analysé un certain nombre de ces données, ainsi que les articles scientifiques publiés, menant au dépôt de ce permis et à l'élaboration d'un programme d'exploration sur ce territoire, en vue de construire des projets de géothermie pour l'exploitation de la chaleur et l'utilisation directe de l'énergie du sous-sol, non-intermittente et décarbonnée.

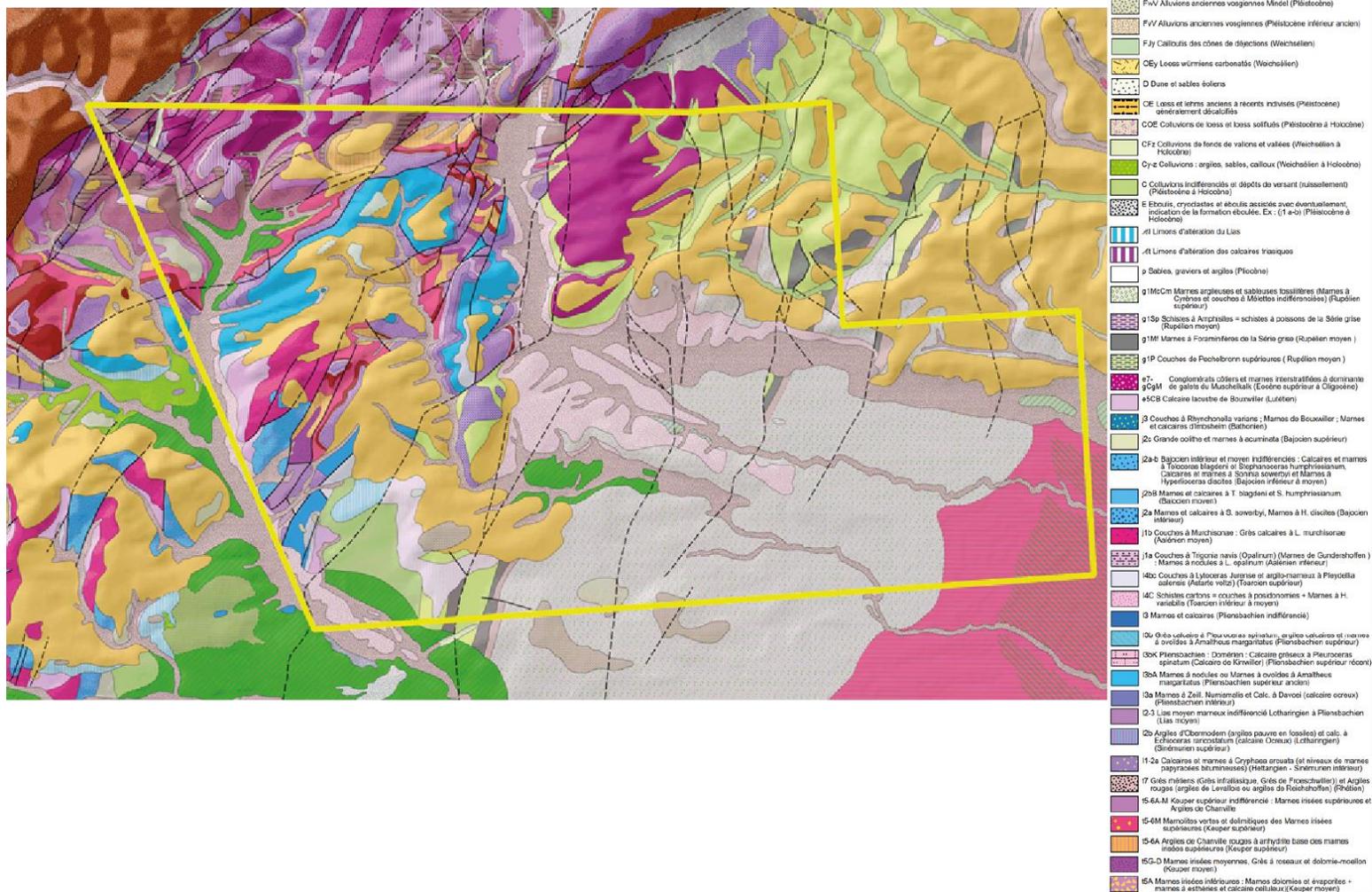


Figure 8 : Carte Géologique du PER sollicité (Source : BRGM)

4 Zones d'intérêt

Un effort particulier a été réalisé dans la rédaction de ce dossier en mettant en exergue le potentiel du périmètre sollicité en faisant une analyse et un découpage en zone. Ainsi, 4 zones à potentiel géothermique ont été identifiées et seront explorées afin de caractériser finement la ressource géothermale.

- 1) **La zone 1, dite de « Surbourg-Betschdorf »** s'inscrit dans la continuité de la structure géologique appelé horst de Soultz-sous-Forêts et représente un fort potentiel de présence de la ressource géothermale. Par ailleurs, ce territoire possède une importante littérature scientifique qui décrit, par de nombreuses méthodes exploratoires traditionnellement utilisées, la situation géologique et structurale et la zone réduisant d'autant le risque des aléas de forage.

L'objectif sera de réaliser dans cette zone une centrale de production de chaleur géothermique permettant d'alimenter un réseau de chaleur industrielle avec une température de l'ordre de 120°C et une puissance d'environ 20 MW thermiques. Ce réseau pourra distribuer de la chaleur à des clients qui pourront s'installer dans le triangle constitué par les communes de Surbourg, Soultz-sous-Forêts et Hatten.

Aujourd'hui, la communauté de communes de l'Outre-Forêt ambitionne de réaliser une zone départementale d'activités à Hatten avec comme objectif une alimentation en énergie thermique par un réseau de chaleur « vert » alimenté essentiellement par de l'énergie géothermique. De son côté, la commune de Soultz-sous-Forêts a inscrit dans son Plan Local d'Urbanisme plusieurs zones de développement pour la géothermie.

Enfin, le secteur étant de tradition agricole, il pourra être envisageable de créer à proximité des zones permettant de recevoir plusieurs hectares de cultures sous serres, qu'elles soient classiques ou de type « aquaponie ». D'autres procédés agroalimentaires du type « élevage d'insectes » ou culture d'algues ou de spiruline ont également été identifiées lors des prospections réalisées par l'étude pilotée par le Conseil départemental du Bas-Rhin.

La société Arverne Geothermal prendra un soin particulier à finaliser ces recherches et à trouver, en partenariat avec les collectivités, des entrepreneurs qui viendront s'installer dans le territoire pour produire des aliments grâce à l'énergie géothermique et ainsi contribuer au développement économique du secteur.

Avec le ratio standard de 6 emplois/ha de serres, en prenant une consommation moyenne de 1MW/ha de serres, il est donc envisageable avec une centrale géothermique de 20 MW d'assurer la création de **100 à 120 d'emplois indirects** sur ce secteur. Nous pouvons rajouter environ **3 à 4 emplois directs** pour l'exploitation et la maintenance de la centrale et de son réseau de chaleur associé.

- 2) **La zone 2, dite de « La Sauer »** présente la particularité unique de d'ores et déjà avoir 2 puits géothermaux forés non utilisés. Arverne Geothermal souhaite mettre en œuvre un programme de monitoring environnemental afin d'établir la possibilité d'exploiter ces ouvrages sans remobiliser la pollution existante.

Ainsi, **l'objectif de développement économique** de cette zone s'articulera dans un premier temps autour de la faisabilité de la production de chaleur à partir des puits existants Héliions II et Héliions III. En produisant une puissance de l'ordre de 3 à 4 MW avec une température de l'ordre de 70°C, ce doublet géothermique pourrait alimenter des installations du type touristique comme les installations d'un golf (projet en réflexion) ou tout autre bâtiment à destination touristique.

On peut raisonnablement envisager la création **d'une dizaine d'emplois indirects et de 2 à 3 emplois directs** avec ce doublet.

- 3) **La zone 3, dite de « Morsbronn »** met déjà à profit le potentiel géothermique apparent par la présence du thermalisme. L'anomalie thermique identifiée en surface dénote un fort potentiel en profondeur.

L'objectif de développement sera naturellement orienté vers le thermalisme. La zone de Mosbronn pourrait voir un ou plusieurs doublets de température de l'ordre de 60 à 100°C et d'une puissance individuelle de l'ordre de quelques MW. Cet apport de puissance thermique dans le territoire permettrait l'extension des activités de thermalisme, voire la création d'une zone de type « activités aqualudiques ».

Le pôle touristique étant un axe fort de développement, on peut envisager la création de **20 à 30 emplois indirects** dans l'exploitation de bâtiments à usage touristiques (hôtels avec spa, hammams, balnéothérapie, piscine, ...) auxquels se rajoutent **2 à 3 emplois directs** pour l'exploitation et la maintenance par doublet géothermique.

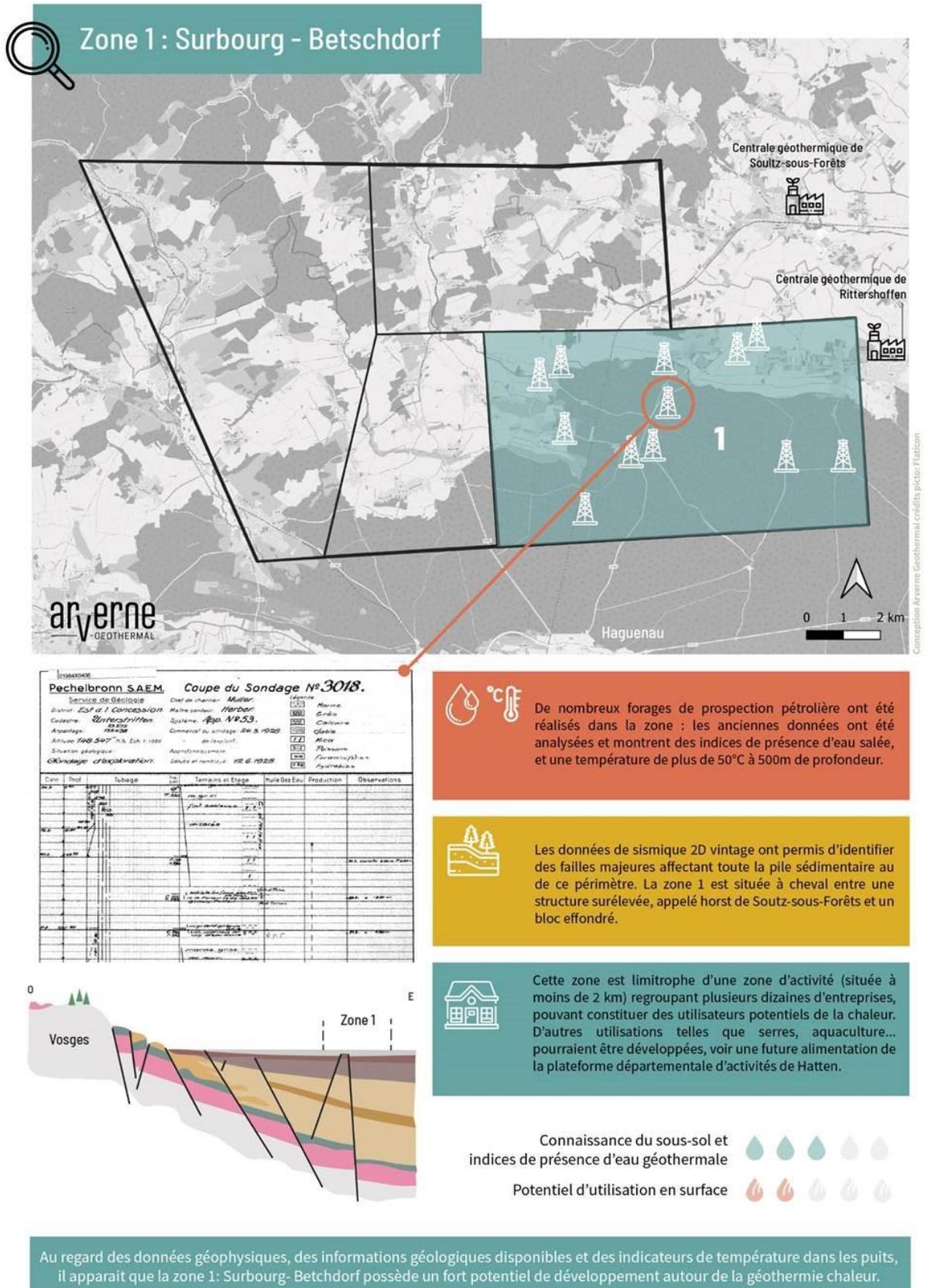
- 4) La zone 4, dite « axe Niederbronn-Mertzwiller » présente elle aussi l'émergence en surface de l'anomalie thermique du Fossé Rhéna Supérieur avec la présence d'une source chaude à Niederbronn-les-Bains.

L'objectif de développement s'incrira le long de cet axe où un nombre important d'entreprises, totalisant près de 400 000 m² de bureaux et d'ateliers, y sont situés. Une étude surface des besoins en surface permettra à Arverne Geothermal de concevoir un projet de géothermie en adéquation avec les besoins du territoire pour attirer d'autres entreprises par un coût de l'énergie maîtrisé.

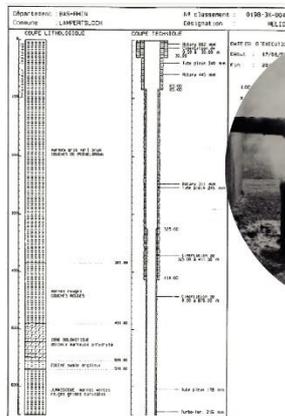
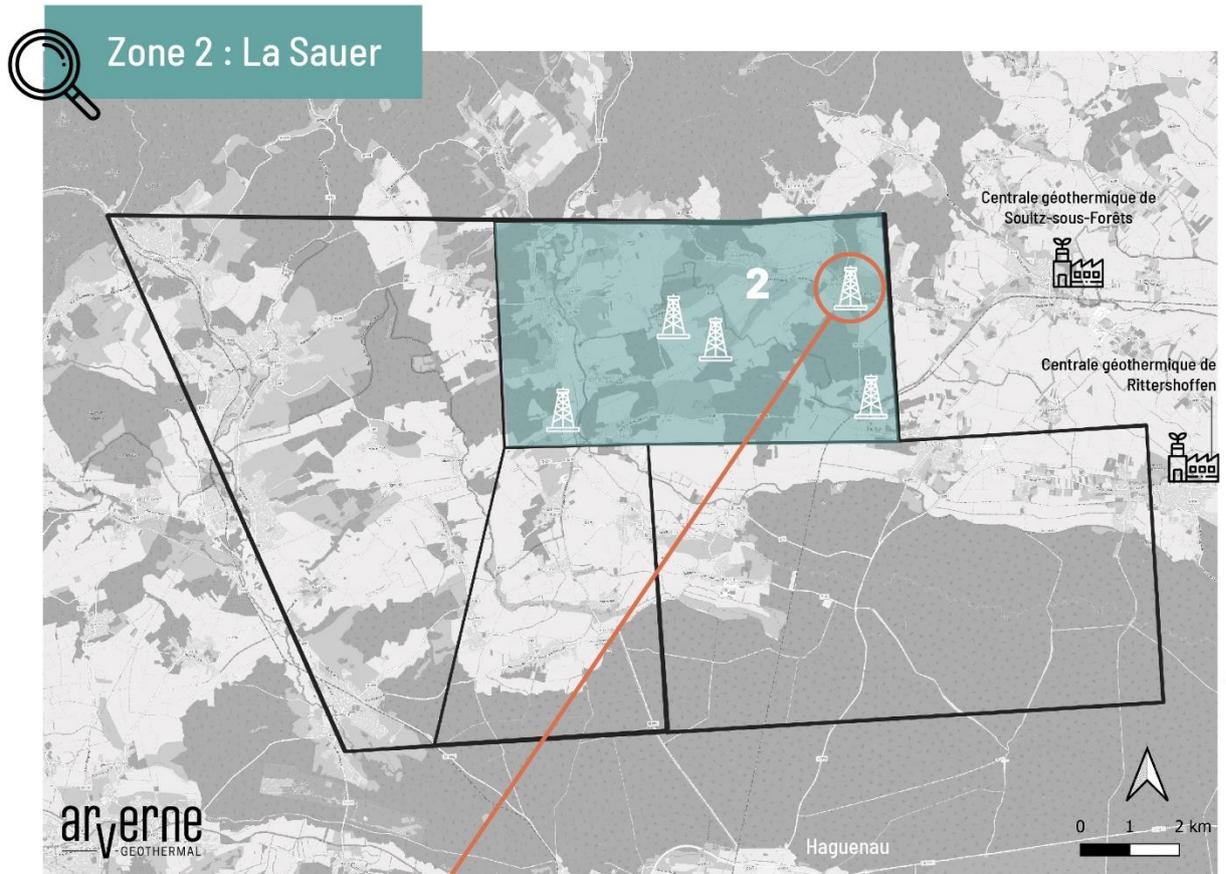
Ainsi, au vu du potentiel des différents projets dans les 4 secteurs du périmètre objet de la présente demande de PER, nous pouvons envisager une création d'environ **150 emplois indirects et une dizaine d'emplois directs**.

Arverne Geothermal poursuivra les discussions avec les élus du territoire et l'ADIRA pour porter ensemble le développement économique basé sur la valorisation de la chaleur renouvelable produite par la géothermie chaleur à vocation industrielle et agroalimentaire.

4.1 Zone d'intérêt 1



4.2 Zone d'intérêt 2

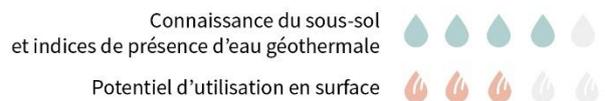
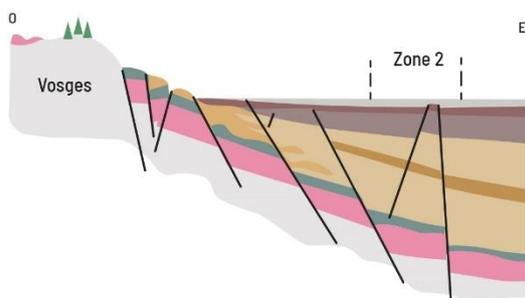


Anciens forages des Héliions

Les anciennes données de forage, et particulièrement celles des forages des Héliions, attestent la présence d'eau chaude à des températures et à un débit exploitable (70°C à 1295 m ; 26m³/h). Malgré son implantation située à distance de la pollution aux Hydrocarbures, un monitoring environnemental sera réalisé avant toute opération sur le terrain.

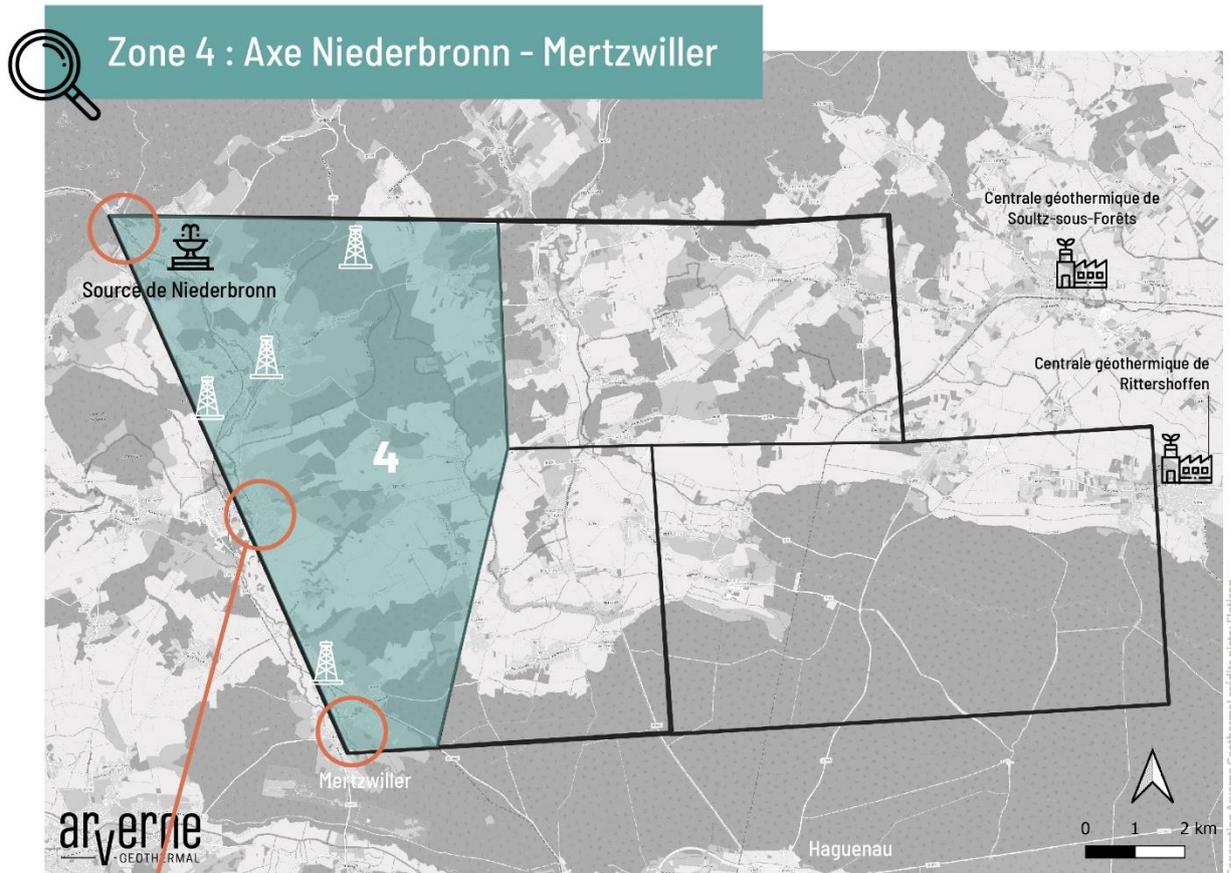
Les puits géothermiques ont recoupé des zones failées et trouvé de l'eau géothermale jaillissant de manière artésienne. La zone 2 est situé sur un graben présentant de multiples failles normales. Une imagerie sismique complémentaire sera nécessaire pour suivre ces failles plus profondément.

Plusieurs communes et industries situées à proximité direct des puits des Héliions pourraient bénéficier du potentiel géothermique de ces ouvrages. Par ailleurs, une zone d'activité est située non loin.



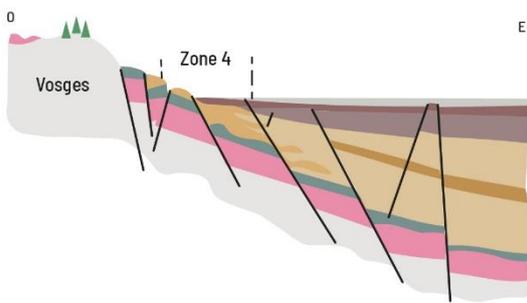
La zone 2 est une zone à fort potentiel de production de chaleur. La profondeur des cibles géothermales, de l'ordre de 1400 m, font qu'elles seront plus facilement atteintes par les forages ou imagées, le cas échéant, par des acquisitions sismiques.

4.4 Zone d'intérêt 4



 La zone 4 n'a pas été explorée par imagerie sismique. Les quelques puits forés dans le périmètre n'atteignent que des profondeurs superficielles et n'apportent pas de données de température. Cependant, la présence de la source chaude de Niederbronn-les-Bains laisse entrevoir une ressource potentielle sur le reste de la zone.

 Les relevés géologiques de surface ont permis de caractériser les structures plus profondes de ce périmètre. Il s'intègre dans un vaste champ de fractures appelé « champ de fractures de Saverne ». Les couches profondes se retrouvent affleurantes en surface.



 Ce périmètre comporte un nombre important de zones industrielles. En effet, un recensement indique plus de 650 bâtiments industriels et près de 380 000m² de bureaux et ateliers. Un bon nombre d'entre eux sont rassemblés au sein de deux zones d'activités de respectivement 32 et 25 hectares

Connaissance du sous-sol et indices de présence d'eau géothermale 

Potentiel d'utilisation en surface 

La zone 4, reliant Niederbronn à Mertzwiller, possède un tissu industriel qui pourra être une opportunité de débouchés pour la géothermie chaleur. La présence d'une source chaude laisse présager d'un fort potentiel qu'une campagne exploratoire aura pour but de déterminer.

5 Les techniques d'exploration

5.1 Imagerie sismique

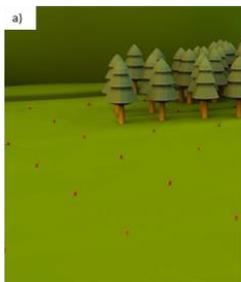
Imagerie Sismique

Matériel
déployé sur le terrain

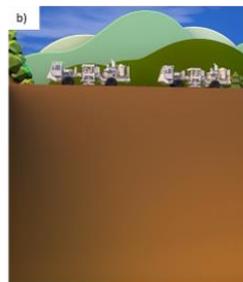


Source : Sereuil et Freaud

Principe de l'acquisition



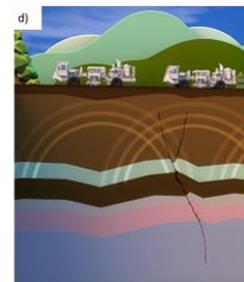
Les capteurs sismiques sont déployés sur le terrain par des équipes se déplaçant à pieds. Les boîtiers sont autonomes et resteront sur le terrain quelques jours avant d'être récupérés. La position est enregistrée par GPS.



Une fois les capteurs déployés, entre en jeu les camions vibreurs. Ils se déplacent selon un itinéraire défini et sont accompagnés par des équipes d'escorte qui assurent la sécurité et le bon acheminement.



Les camions vibrent quelques dizaines de secondes tous les 20m avant de poursuivre leur route. Une onde acoustique est émise et se propage dans le sous-sol.

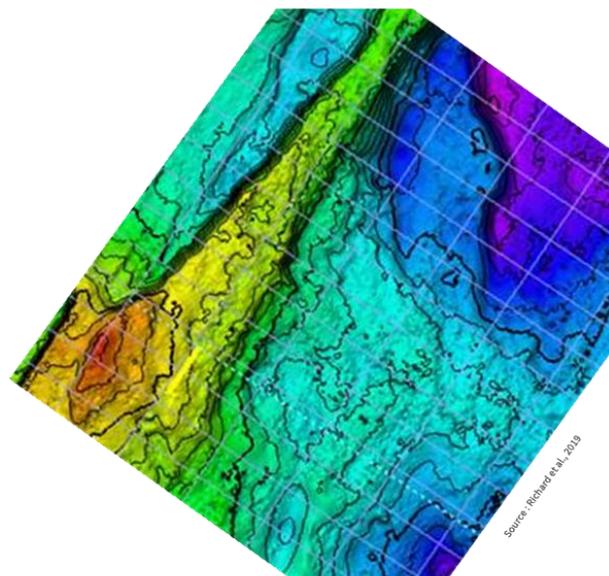


Les ondes acoustiques émises se réfléchissent à l'interface entre deux couches géologiques de nature différente. Les capteurs en surface enregistrent et stockent les données. Après traitement, l'image du sol sera reconstruite.

Crédits Images : extrait d'une vidéo d'Electricité de Strasbourg

Résultats

L'apport d'une acquisition sismique 3D est de fournir un cube de la zone prospectée à l'intérieur duquel il est possible de suivre avec précision les horizons sismiques, dits réflecteurs, ainsi que les discontinuités qui les affectent. Après une longue étape de traitement des données et d'interprétation, ces réflecteurs sont associés aux véritables couches géologiques et les discontinuités marquent la présence des failles qui fracturent le Fossé Rhénan. L'image de droite représente la profondeur du Buntsandstein (le grès ayant servi à construire la cathédrale) en Alsace du Nord. Une structure surélevée se caractérise par une couleur rouge marquant une profondeur faible à la différence des bassins qui apparaissent en bleu. Ces structures sont séparées les unes des autres par des failles majeures qui indiquent les décrochements entre les blocs.



L'imagerie sismique est un outil essentiel pour caractériser la structure du sous-sol et ainsi permettre de concevoir les trajectoires des puits qui atteindront les cibles visées.

5.2 Forages de gradient

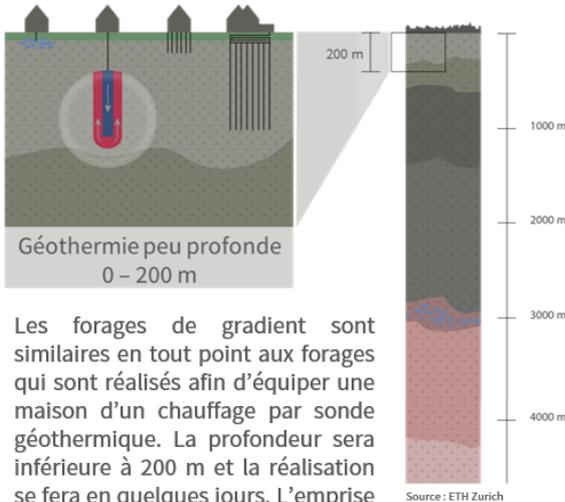
Forages de gradient

Matériel pour le forage

Machine de forage

- 19 Tonnes
- 8 x 2,5 m

Nappe	Sondes	Pieux	Champs
5 - 20 m	100 - 300 m	10 - 60 m	50 - 300 m
8 - 12 °C	14 - 20 °C	10 - 12 °C	10 - 20 °C



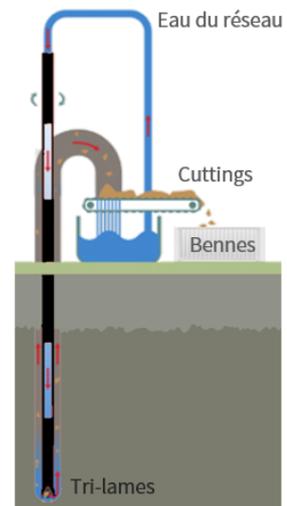
Les forages de gradient sont similaires en tout point aux forages qui sont réalisés afin d'équiper une maison d'un chauffage par sonde géothermique. La profondeur sera inférieure à 200 m et la réalisation se fera en quelques jours. L'emprise du chantier sera d'environ 150 m².



Tubage en acier
Tri-lames
Bennes de stockage

Forage et mesure thermique

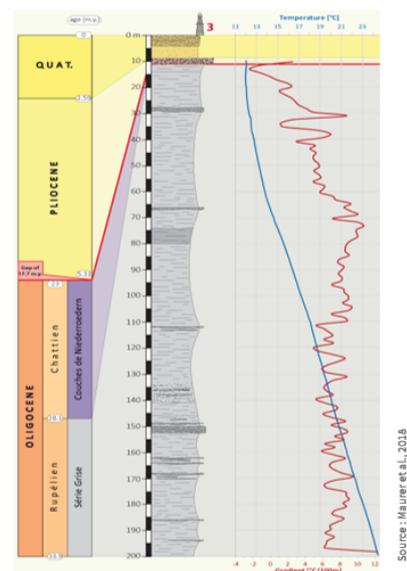
La technique de forage sera de type rotary avec tubage à l'avancement permettant de garantir la stabilité du puits. Les boues de forages seront stockées sur le chantier dans des bennes avant d'être évacuées dans un centre de traitement dédié. La sonde géothermique sera coulée dans de la bentonite afin d'assurer l'étanchéité et le couplage avec la roche. Enfin, une mesure de température le long du forage sera réalisée afin d'établir le gradient géothermique.



Résultats

La mesure effectuée dans le forage de 200 m de profondeur permet d'obtenir le profil thermique c'est-à-dire la valeur de la température en fonction de la profondeur (figure à droite). En Alsace, l'augmentation de la température avec la profondeur (appelé gradient géothermique) atteint des valeurs allant jusqu'à 12 °C / 100 m, loin devant les valeurs obtenues dans la majeure partie du territoire métropolitain qui s'établit à 3°C / 100 m.

Les gradients les plus forts seraient atteints à l'aplomb de failles à l'intérieur desquelles circulent une eau géothermale chaude. Or, il a été montré que cette anomalie thermique peut être détectée par des forages de faible profondeur, dit forages de gradient. Couplée à l'acquisition sismique 3D capable d'imager les failles présentes dans le sous-sol, l'exploration par forages de gradient permet d'inférer la température au niveau de la cible géothermale et d'avoir un indicateur sur la présence d'eau et de circulation au sein des failles visées.



Les forages de gradient permettent d'obtenir une estimation précise de la température de l'eau géothermale au niveau de la faille ciblée.

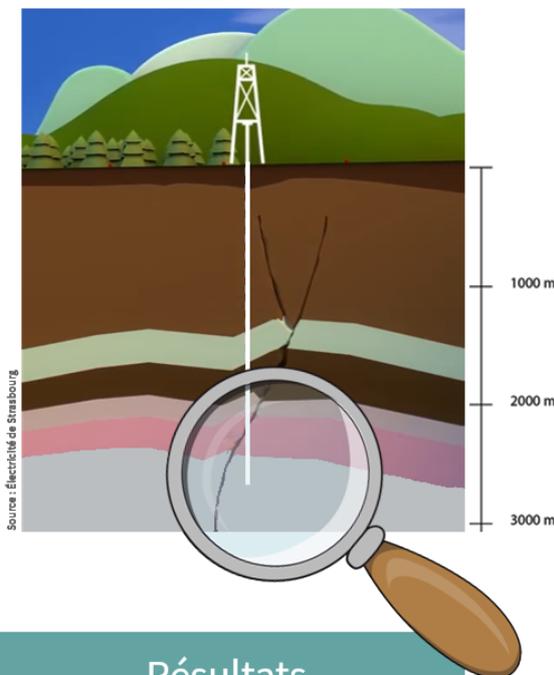
5.3 Forage exploratoire

Forages exploratoire

Matériel pour le forage

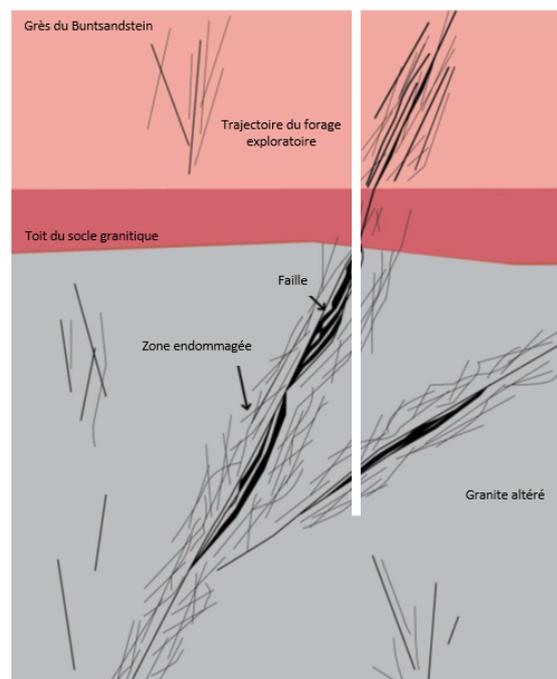
Machine de forage

- MR8000
- Hauteur du mât : 36 m
- Poids au crochet : 200 T
- Puissance pompage : 2 x 1 000HP
- Nombre de forages de géothermie : 24



Objectif du forage exploratoire

Une fois que les données des forages de gradient ainsi que de l'imagerie sismique auront été traitées et interprétées, il sera possible de calculer la trajectoire du forage exploratoire afin d'atteindre la cible géothermale. Cette cible se situe à l'interface entre les sédiments gréseux et le socle granitique altéré et hydrothermalisé où circule naturellement l'eau géothermale. Afin de réduire les aléas en phase forage, la trajectoire du premier puits sera verticale. La profondeur du forage se situera entre 1 800 m et 2 500 m de profondeur.



Résultats

Une fois que le forage sera achevé, débiteront les opérations de nettoyage consistant à évacuer les restes de boues de forages qui se sont insinués dans les failles perméables du réservoir géothermal. Un premier test de productivité pourra alors être mis en œuvre afin de caractériser la connexion au réservoir faillé. Parmi les paramètres calculés se trouvent le débit de production et l'indice d'injectivité (rapport entre le débit d'injection et la surpression nécessaire à son obtention). Si les tests s'avèrent concluants alors pourra débiter la foration du 2^{ème} puits géothermique. Dans le cas contraire, un nettoyage complémentaire des failles pourra être réalisé afin de dissoudre ou broyer les minéraux obstruant les failles.

Dès lors que la connaissance du sous-sol sera suffisante, une trajectoire de puits rectiligne sera calculée en direction de la cible géothermale que représente l'interface socle / sédiments.

5.4 Monitoring de la sismicité naturelle et induite

La microsismicité est définie comme des événements sismiques de faible magnitude, uniquement décelable à l'aide d'instruments de mesure et non ressentis par la population.

Dans les projets de géothermie profonde, l'occurrence d'événements sismiques induits peut apparaître à partir de la phase forage : la circulation de la boue, qui a pour objectif de remonter les roches forées, peut amener à une réouverture des failles croisées durant le forage. La surveillance de celle-ci et notamment des « pertes de boues » lors du forage permet d'adapter les débits de circulation et de modifier à sa fluidité et sa densité pour endiguer le risque sismogénique.

Une fois le forage achevé, débutent les opérations de nettoyage consistant à évacuer les restes de boues de forages qui se sont insinuées dans les failles perméables du réservoir géothermal. Ces opérations de nettoyage par dissolution, injection froide et/ou injection sous pression est une étape générant de la sismicité induite et localisée à proximité du puits.

En Alsace, zone de sismicité naturelle modérée, la surveillance de la sismicité naturelle est réalisée par le Réseau National de Surveillance Sismique (RENASS) depuis de nombreuses années. La réglementation concernant la surveillance de la microsismicité induite par les projets de géothermie profonde est définie lors des Demandes d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers (DAOTM) demandée par l'Opérateur à la Préfecture préalablement aux forages d'exploration. Usuellement, un dispositif comprenant 5 stations sismologiques (4 stations vélocimétriques de courte période et 1 station multi-capteurs) est installé 6 mois avant le début du forage, déployé dans un cercle de 5 km de rayon centré sur la plateforme accueillant la machine de forage.

Afin d'être en mesure de caractériser finement la sismicité naturelle dans le PER sollicité mais également pour cartographier les failles naturellement actives et susceptibles d'héberger une circulation hydrothermale, un dispositif de monitoring microsismique large échelle sera déployé dès l'obtention du PER. Il s'agira d'une première dans la filière géothermie.

Les pétroliers ont développé de nombreuses techniques de traitements avancés des données issues des réseaux sismiques utilisés pour le développement et l'exploitation de certains champs pétroliers. Arverne Geothermal, fort de la complémentarité avec les filiales du Groupe Arverne et de son expérience, mettra en œuvre un programme de transposition de cette expertise pétrolière au profit de la filière géothermie afin que la microsismicité induite devienne une source d'information utile pour le suivi, l'analyse et la gestion du réservoir géothermal.

Monitoring microsismique

Matériel

- Capteur sismique (SG10, SG5, L4, etc.)
- Numériseur intégré
- Visualisateur web

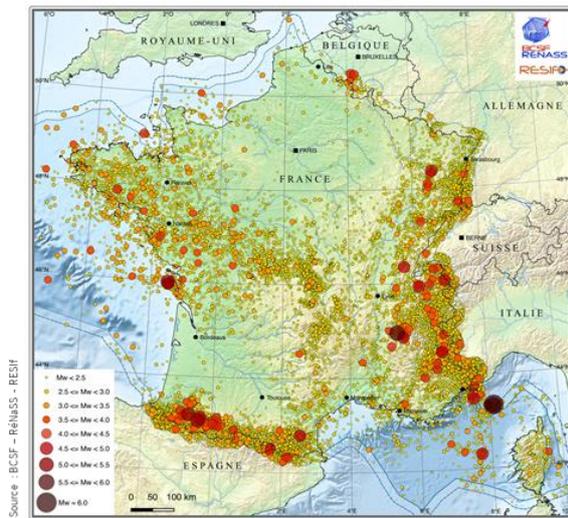


Capteur enterré



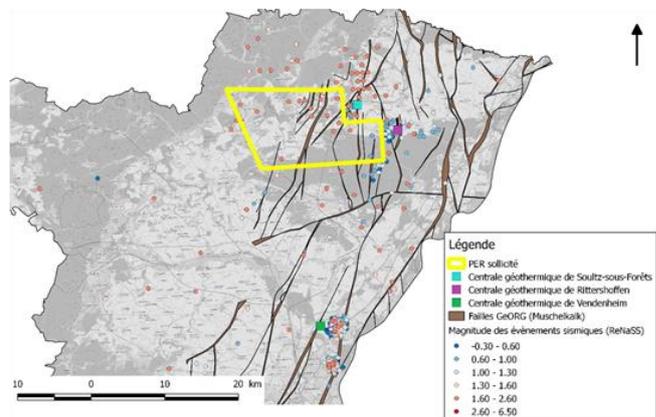
Capteur pédagogique

Source : Secret - Raspberry Shake



Source : BCSF - RéNaSS - RESIF

Sismicité naturelle / induite



Monitoring microsismique
Sismicité enregistrée par le Réseau National de Surveillance Sismologique
Fond de carte : OpenStreetMap
Echelle : 1 : 300 000

La France dispose d'un réseau de capteurs sismologiques permettant de suivre l'activité sismique naturelle. Ce suivi a permis d'établir la carte du zonage sismique applicable sur le territoire national. L'Alsace est ainsi classée en zone de sismicité modérée. Dans le cadre du développement des projets géothermiques chaleur d'Arverne Geothermal, une attention toute particulière sera mise sur la gestion de la microsismicité.

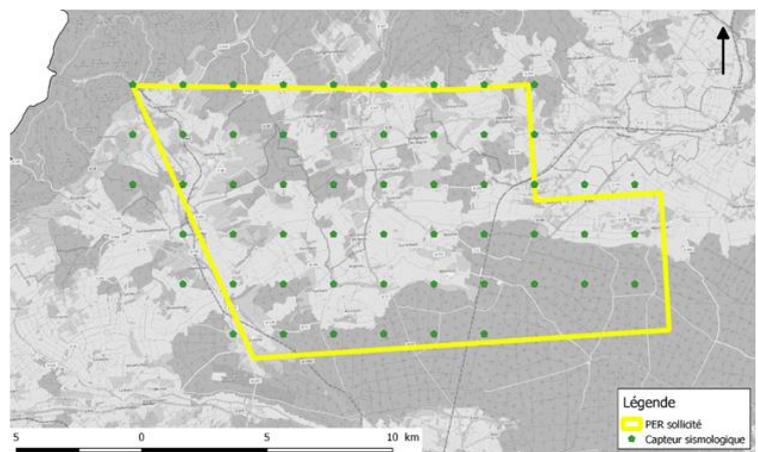
Le monitoring concernera la sismicité naturelle ainsi que la sismicité induite par les forages et l'exploitation de l'eau géothermale. La microsismicité ne doit plus être un problème mais un outil afin de calibrer le projet à ce que le réservoir géothermal est prêt à accorder. Pour ce faire, un important travail d'intégration des données microsismiques pour la gestion du réservoir géothermal sera réalisé.

Résultats et méthodes

Afin d'assurer un suivi microsismique pertinent, Arverne Geothermal souhaite déployer dès l'obtention du Permis Exclusif de Recherches de gîtes géothermiques un réseau dense de capteurs autonomes ainsi que de nombreux capteurs pédagogiques. L'objectif est double :

- Assurer une vraie analyse de la sismicité naturelle à l'échelle de plusieurs années avant les forages
- Rendre acteurs les citoyens du territoire sollicité et les intégrer dès le début

Arverne Geothermal assurera une information transparente sur la microsismicité par un reporting et un accès aux résultats.



Monitoring microsismique de la sismicité naturelle
Déploiement d'un réseau couvrant l'intégralité du PER sollicité
Fond de carte : OpenStreetMap
Echelle : 1 : 100 000

Arverne Geothermal mettra en œuvre une méthodologie novatrice dans laquelle le monitoring microsismique sera transparent, impliquera les citoyens et sera intégré à la gestion du réservoir.

6 Contexte environnemental de l'étude

Le Permis Exclusif de Recherche sollicité est situé dans une région qui comprend deux unités paysagères principales définies dans l'Atlas des Paysages d'Alsace : le Piémont Nord et la Forêt de Haguenau.

A l'Ouest et au Nord se trouve le Piémont Nord formant une marche adossée au relief des Vosges du Nord. Son paysage étagé avec en haut les versants boisés et plus bas une alternance de prairies, de vergers et dans une moindre mesure de cultures, est ponctué de villages et de bourgs implantés au débouché des vallées Vosgiennes. Cette région présente de nombreux enjeux paysagers, exposés sur la Figure 9.

Au Sud et à l'Est se trouve l'unité paysagère de la Forêt de Haguenau. Elle forme un très vaste massif forestier plat, quadrillé d'allées et traversé par d'importants axes routiers, parcouru d'une multitude de ruisseaux et bordé de la vallée de la Moder fédérant les villages et l'agglomération de Haguenau. Les enjeux de cette unité sont exposés sur la Figure 10.

Le périmètre sollicité comporte de grandes surfaces situées en zone de plaine exploitées en agriculture, en majorité céréalière (maïs et blé), de façon minoritaire des oléagineux (tournesol, moutarde...) et des cultures diverses (soja, vergers, etc.). Il comporte également des surfaces forestières, en particulier la Forêt de Haguenau, au sud du PER sollicité.

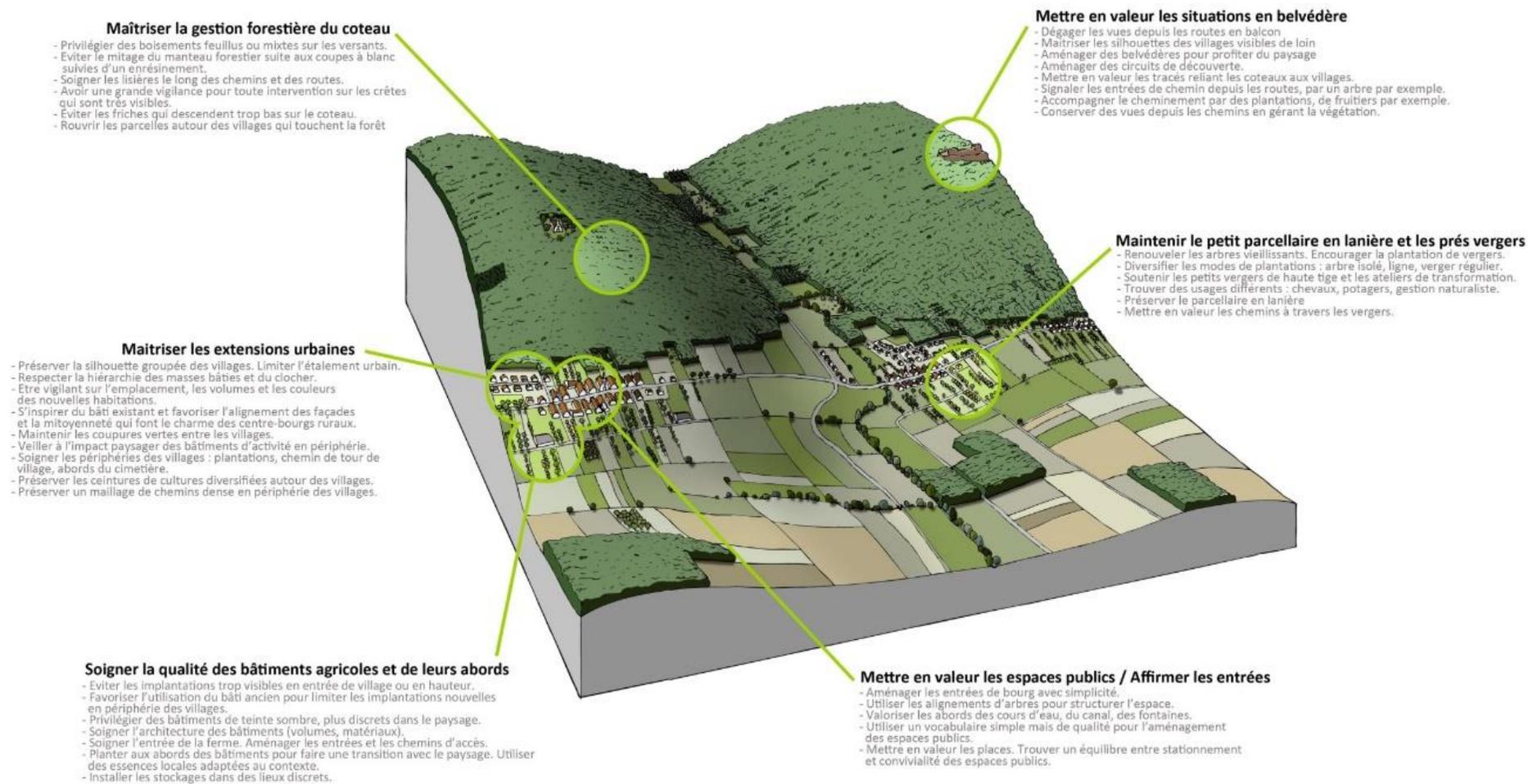


Figure 9 : Enjeux Paysagers - Piémont Nord (Source : OTE Ingénierie)



Figure 10 : Enjeux Paysagers - Forêt de Haguenau (Source : OTE ingénierie)

7 Scénario de référence : état initial

L'état actuel et la qualité de l'environnement sur le PER sollicité sont présentés dans le tableau de synthèse ci-dessous (Tableau 1).

SANS INTERET PARTICULIER NEUTRE	DEGRADE	MOYEN	PRESERVE / SATISFAISANT
--	----------------	--------------	--------------------------------

THEMES	ETAT/ QUALITE	PROBLEMATIQUES
POPULATION ET SANTE HUMAINE	/	Préserver la qualité de vie et la santé des habitants
MILIEUX BIODIVERSITE NATUREL	Principaux milieux à enjeux dans le périmètre du PER : - Site Natura 2000 de la Forêt de Haguenau, - Zones humides, - Prairies et vergers	Préserver les habitats et les espèces
GEOLOGIE	Milieu faillé favorable à la géothermie	Evaluer le potentiel géothermique et identifier précisément les gîtes cibles
POLLUTION DES SOLS	Zones 1, 3 et 4 peu concernées	/
	Zone 2 : - Plusieurs Secteurs d'Information sur les Sols (SIS) recensés dans le périmètre. - Enjeu principal au niveau de l'ancien bassin pétrolier de Pechelbronn	Veiller à éviter toute remobilisation et migration des polluants
HYDROGEOLOGIE	Masses d'eau souterraines exploitées en agriculture et pour la production d'eau potable	Préserver la qualité des eaux souterraines
EAUX SUPERFICIELLES	Etats écologique et chimique dégradés	Préserver la qualité des eaux superficielles
CLIMAT	Vents dominants Sud-Ouest et Ouest Sud-Ouest Grande amplitude thermique sur l'année Changement climatique	Participer à la transition écologique et à la lutte contre le réchauffement climatique
QUALITE DE L'AIR	Bonne qualité générale Dépassement des seuils de qualité pour le paramètre ozone	Ne pas dégrader la qualité de l'air par des émissions polluantes
PATRIMOINE CULTUREL ET ARCHEOLOGIQUE	Plusieurs périmètres de protection de monuments historiques recensés dans le secteur du PER Zone à enjeu archéologique recensé dans la forêt de Haguenau	Préserver le patrimoine culturel et archéologique
PAYSAGE	PER concerné par 2 unités paysagères principales : - Forêt de Haguenau - Piémont Nord	Préserver le patrimoine paysager

BIENS MATERIELS	/		/
RISQUES NATURELS	Sismicité		Risque sismique modéré d'après le zonage national mais risque naturel principal à considérer dans le cadre des projets de géothermie profonde
	Autres risques naturels dans le périmètre du PER : <ul style="list-style-type: none"> - Inondation (Moder, Sauer, Seltzbach) - Retrait gonflement d'argiles - Coulées d'eau boueuse - Potentiel radon 		Faible niveau de risque et risques connus (zones inondables cartographiées)
RISQUES INDUSTRIELS			

Tableau 1 : État actuel et qualité de l'environnement sur le Permis Exclusif de Recherches sollicité. (Source : OTE ingénierie)

La problématique de pollution des sols de la zone 2 (Figure 11) provient d'une pollution aux hydrocarbures due à l'exploitation et l'abandon non-maitrisé des puits de pétrole de l'ancienne concession et raffinerie de Pechelbronn. Cette zone fait ainsi l'objet d'un arrêté préfectoral encadrant les activités industrielles liées au sous-sol et à l'utilisation de l'eau.



Figure 11 Sols pollués (Source : Géorisques / OTE Ingénierie)

Les eaux superficielles principalement concernées par le projet (Eberbach, Falkensteinbach2, Halbmühlbach, Sauer 2, Seltzbach, Zinsel du Nord 3) n'atteignent pas les objectifs de bon état écologique et chimique. Tous les ruisseaux et rivières présentent une mauvaise qualité chimique. En particulier, la présence d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les eaux superficielles justifie leur déclassement, à l'instar des eaux souterraines.

8 Évolution probable de l'environnement en cas de mise en œuvre ou en l'absence de mise en œuvre du projet

Au regard de l'état initial, l'évolution probable de l'environnement en cas de mise en œuvre ou l'absence de mise en œuvre du projet a été analysée et présentée dans le Tableau 2 ci-dessous.

Le Permis Exclusif de Recherches étant un cadre général établi avant tout travaux, il convient de rappeler que chaque action sur le terrain fera l'objet d'une étude environnementale spécifique, adapté en termes de localisation géographique et de planning.

EVOLUTION SUPPOSEE AVEC/SANS LE PROJET	
	Amélioration probable
	Pas de différence significative
	Détérioration probable

THEMES	Evolution supposée		Commentaires
	Avec le projet	Sans le projet	
POPULATION ET SANTE HUMAINE			Le projet d'Arverne Geothermal, outre la production de chaleur industrielle, est de fortement développer l'usage des serres chauffées par géothermie afin que le territoire soit en mesure de proposer de manière plus diversifié de la nourriture locale.
MILIEUX NATUREL BIODIVERSITE			/
GEOLOGIE			Arverne Geothermal, par le biais de son programme exploratoire et par la volonté de transparence et de publications scientifiques, permettra d'aboutir pour les scientifiques à une meilleure connaissances de la géologie locale et des différents types d'aquifère en Alsace du Nord.
HYDROGEOLOGIE			
EAUX SUPERFICIELLES			/
CLIMAT			La géothermie est une énergie renouvelable participant à la transition écologique en substitution de la consommation d'énergie fossile à l'origine de rejets atmosphériques dégradant la qualité de l'air
QUALITE DE L'AIR			
PATRIMOINE CULTUREL ET ARCHEOLOGIQUE			/
PAYSAGE			Le projet chaleur d'Arverne Geothermal ne nécessite pas l'utilisation d'aérotherme (à la différence des projets électrogènes) principal source d'impact visuel et sonore.
BIENS MATERIELS			/
RISQUES NATURELS			/
RISQUES TECHNOLOGIQUES			/

Tableau 2 : Évolution probable de l'environnement avec et sans le projet de géothermie profonde porté par Arverne Geothermal. (Source : OTE ingénierie)

9 Facteurs environnementaux susceptibles d'être affectés de manière notable par le projet

Le Tableau 3 ci-dessous présente les enjeux relatifs à la réalisation des travaux prévus dans le cadre de ce PER.

THEMES	ENJEUX
POPULATION ET SANTE HUMAINE	Maîtrise des nuisances sonores
MILIEUX NATUREL BIODIVERSITE	Préserver les habitats et les espèces lors des opérations de recherches (Forêt de Haguenau – zone 1, zones humides et prairies)
GEOLOGIE	Contexte géologique = donnée essentielle au projet de géothermie mais peu d'enjeux notable identifié
POLLUTION DES SOLS	Enjeu fort dans l'ancien bassin pétrolier de Pechelbronn (zone 2 principalement)
HYDROGEOLOGIE	Préserver la qualité des eaux souterraines et de la ressource en eau Eviter la mise en communication de nappes différentes dans le cadre des forages
EAUX SUPERFICIELLES	Pas d'enjeu notable identifié
CLIMAT	Réduction des rejets de gaz à effet de serre et préservation du climat
QUALITE DE L'AIR	Réduction des rejets issus de la consommation d'énergie fossile
PATRIMOINE CULTUREL ET ARCHEOLOGIQUE	Préserver le patrimoine culturel et archéologique
PAYSAGE	Préserver le patrimoine paysager
BIENS MATERIELS	Pas d'enjeu notable identifié
RISQUES	Prévenir l'apparition de phénomènes sismiques induits par l'activité géothermique Prise en compte des autres risques naturels (inondation, coulées de boues, retrait-gonflement d'argiles, ...) Prise en compte des risques industriels (conduite GRT gaz)

Tableau 3 : Facteurs environnementaux susceptibles d'être affectés de manière notable par le projet.
 (Source : OTE ingénierie)

Les incidences notables du projet sur l'environnement ont été évalués suivant plusieurs thématiques.

Les phases de forage, qui nécessitent une demande d'autorisation spécifique (Demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers) auprès de la préfecture seront accompagnées d'une étude d'impact environnemental dédiée et soumise à enquête publique.

- **Paysage et patrimoine culturel**

Aucun effet des opérations prévues dans le cadre du Permis Exclusif de Recherches sollicité n'est prévu sur le paysage et le patrimoine culturel : les opérations sont temporaires et n'engagent que des engins et véhicules de chantier. Le périmètre est également peu concerné par les présomptions de richesses archéologiques.

Lors de la phase forage, les effets paysagers de la plateforme de forage seront analysés spécifiquement. Le choix de l'emplacement de cette plateforme considèrera les périmètres de protection des Monuments historiques, ainsi que le zonage d'enjeu archéologique.

- **Consommation d'espace naturel, agricole et forestiers**

Les opérations prévues dans le cadre du PER sollicité n'induisent aucune consommation significative de surface. Lors des forages de gradient, l'espace requis temporairement en surface est faible (150m² environ). Dans le cadre des forages exploratoires, l'installation des plateformes nécessite un espace d'environ 2 à 3ha (variable en fonction des projets et des emplacements).

- **Ressource en eau**

En dehors des forages d'exploration devant faire l'objet d'une demande d'autorisation spécifique, les opérations prévues dans le cadre de ce Permis n'induisent aucun prélèvement d'eau souterraine et superficielle et n'a donc aucune incidence sur la disponibilité de ces eaux.

- **Biodiversité : mesures de réduction**

Les impacts des forages de gradient sur la biodiversité sont limités : Les forages de gradient sont réalisés à une profondeur maximale de 200 mètres. Durant la période de forage, l'emprise du chantier sera de 150 m². Après réalisation des mesures de température, le puits est comblé de haut en bas avec du ciment. A l'issue de la réalisation du forage, il ne subsistera qu'une tête de puits dépassant du niveau du sol (emprise maximale de 1 m²). Dans les milieux cultivés nécessitant un travail du sol, la tête de puits est supprimée sur une profondeur de 2 mètres afin de permettre l'utilisation d'engins agricoles.

Les campagnes de sismiques 2D ou 3D seront réalisées selon un planning prenant en compte les contraintes liées à la faune (oiseaux, amphibiens, cervidés, ...) et avec accord préalable des gestionnaires de site Natura 2000 (Forêt de Haguenau), sous la supervision de l'ONF. Les camions vibrants circuleront exclusivement sur les chemins et routes existants, sans passage ni travaux dans les milieux naturels sensibles.

- **Faune, flore et milieux naturel**

Lors des divers travaux prévus dans le cadre de ce PER, l'incidence sera essentiellement temporaire sur les milieux naturels et sur la végétation en place. Pour tous ces impacts (écrasement de la végétation, débroussaillage, passage de personnel, ...), la végétation devrait être à même de reprendre à l'identique dès l'année en cours ou l'année n+1. Du fait des mesures proposées, notamment dans l'emprise des secteurs les plus sensibles, les incidences attendues sur la faune seront temporaires et de faible intensité.

Au regard du respect de toutes les consignes strictes pour limiter les risques pour les espèces animale, végétale et les milieux naturels protégés en collaboration étroite avec les gestionnaires des sites Natura 2000, les impacts attendus sur les milieux naturels remarquables, la faune et la flore peuvent-être qualifiés de très faibles.

Le projet ne générera aucune incidence permanente sur les milieux naturel, a fortiori ceux situés dans le périmètre des réservoirs de biodiversité ou de corridors écologiques.

Aucune incidence négative permanente n'est attendue sur le fonctionnement écologique régional et local.

- **Polluants, utilisations de substances et technologie**

L'exploration réalisée dans le cadre du Permis Exclusif de Recherches apportera une meilleure connaissance géologique de la zone, ainsi qu'une meilleure connaissance du réservoir géothermal alsacien. Aucun effet direct sur la qualité du sol et du sous-sol, les eaux superficielles ou souterraines, la qualité de l'air et les odeurs n'est prévu dans le cadre des opérations réalisées dans le cadre du PER.

Les émissions acoustiques des opérations prévues sont dues au fonctionnement normal des camions et aux travaux de forages et sont encadrés par la législation. Ces émissions sont très limitées dans le temps et dans l'espace et n'engendreront aucun impact notable pour les populations voisines et la biodiversité.

Les vibrations imputables aux travaux de ce PER sollicité sont générées par les camions durant les acquisitions sismiques 2D et 3D. Elles sont sans danger pour les biens, les personnes et pour l'environnement ; Les ondes sonores émises et réfléchies ont « un effet ressenti comparable à celui d'une machine à laver en fonctionnement » d'après les retours d'expérience disponibles.

Les émissions lumineuses seront très limitées dans le temps et l'espace, puisqu'elles concernent uniquement la circulation des véhicules et les phases de forage, s'ils sont réalisés en période nocturne.

Les opérations prévues dans le cadre de ce PER engendrent peu de production de déchets, à l'exception de la boue utilisée lors des forages et qui fait l'objet d'un traitement spécifique.

Aucun rejet susceptible d'avoir un effet sur la santé humaine n'est relevé dans le cadre des opérations réalisées dans le cadre du PER sollicité.