

7



VULCAN ENERGY
ZERO CARBON LITHIUM™



Demande d'octroi d'un Permis Exclusif de Recherches de mines de Lithium et toutes autres substances connexes dit « Kachelhoffa minéral »

7.

Résumé non-technique

Rédaction du document

Document	Date	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
1_VEF_PERL_KACHELHOFFA_RNT	27/02/2023	Alexandre RICHARD	Vincent LEDOUX PEDAILLES	Vincent LEDOUX PEDAILLES

Diffusion du document

Date	Destinataire	Organisme	Version numérique	Version papier
27/02/2023	Jean-Raymond PHILIPOT Cécile CARON	Direction Générale de l'Aménagement et du Logement et de la Nature	1	1
27/02/2023	Contact générique	Préfecture du Bas-Rhin	1	1
27/02/2023	Marc LITZENBURGER Émilie JACQUOT	Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement	1	1

Vulcan Énergie France S.A.S.

84 route de Strasbourg

67500 Haguenau

info@v-er.eu

Table des matières

1	Préambule	11
1.1	Contexte de la demande en lithium.....	11
1.1	Le projet intégré de Vulcan Energie	13
2	Identité du demandeur et capacités techniques et financières.....	15
2.1	Structuration du groupe Vulcan.....	15
2.2	Chronogramme du développement	15
2.3	Capacités techniques	16
2.3.1	Les entités opérationnelles	16
2.3.2	La centrale géothermique d'Insheim.....	18
2.3.3	Pilotes d'extraction et laboratoire d'analyse	18
2.3.4	Démonstrateur d'extraction.....	21
2.3.5	Pilote de conversion	23
2.4	Capacités financières	24
3	Mémoire technique	27
4	Programme des travaux d'exploration.....	30
5	Méthodologie de construction du projet	39
6	Etude d'incidence environnementale	41

Table des illustrations

Figure 1 : Description des acteurs majeurs de la chaîne de valeur pour la production des batteries au lithium.....	11
Figure 2 : (à gauche) Répartition des gigafactories de batteries prévues d'ici 2030 en Europe (Source : CIC energiGune 06/2022). (à droite) L'augmentation de la demande en lithium en Europe d'ici 2030 (Source : Vulcan Annual Report 2022).....	12
Figure 3 : Principe d'encadrement de la filière lithium par la Commission Européenne (Source : EU)	12
Figure 4 : (à gauche) le 5 piliers RSE du projet porté par le Groupe Vulcan, (à droite) la différence en termes de transport de la production de lithium entre les gisements.....	13
Figure 5 : Principe du projet porté par Vulcan Énergie France basé sur une capacité à adapter le projet aux différentes situations permettant la co-production de l'énergique géothermique et du lithium.	14
Figure 6 : Architecture des sociétés du Groupe Vulcan.	15
Figure 7 : (en haut) Chronogramme simplifié du développement du Groupe Vulcan depuis sa création en 2018 et (en bas) focus sur les 2 dernières années.	16
Figure 8 : Description des 4 structures du Groupe Vulcan qui porte le projet de production d'énergie renouvelable et de lithium décarboné.	17
Figure 9 : Vue aérienne de la centrale géothermique d'Insheim représentant environ 1 ha de surface.	18
Figure 10 : (à gauche) Installation pilote d'extraction du lithium, unité de prétraitement de la saumure. (à droite) Installation pilote d'extraction du lithium, unité DLE.	19
Figure 11 : Installation d'extraction directe du lithium conçue pour un fonctionnant à la pression de circulation de la saumure géothermale.....	20
Figure 12 : Laboratoire d'analyse du Groupe Vulcan à Karlsruhe.....	20
Figure 13 : Équipements utilisés pour les mesures analytiques. Chromatographie à échange d'ions, IC (à gauche). Spectrométrie à plasma à couplage inductif ICP-OES(à droite).....	20
Figure 14 : Image aérienne de la centrale géothermique de Landau et positionnement en surface des équipements dédiés au démonstrateur d'extraction de lithium.	21
Figure 15 : Vue 3D de l'implantation de l'usine de démonstration de capacité 5m3/h, en construction sur le site de Landau in der Pfalz.....	21
Figure 16 : Mise en place de la dalle béton et des conteneurs qui hébergeront le démonstrateur d'extraction de lithium sur le site de Landau.	22
Figure 17 : Réception des cuves d'extraction (à gauche) et montage du système d'automatisation du processus de concentration de la saumure en lithium géothermal (à droite).....	22
Figure 18 : Schéma de l'usine de conversion (1:200).....	23
Figure 19 : Site d'implantation de la centrale de conversion localisé dans le parc chimique d'Höchst de Frankfurt (un des plus grands d'Allemagne avec 460 hectares) proche des infrastructures de notre partenaire Nobian.	23
Figure 20 : Résultats finaux de la conversion du chlorure de lithium issue de la centrale géothermique d'Insheim en hydroxyde de lithium qualité batterie après raffinage par électrolyse.	24
Figure 21 : Présentation des contrats de sécurisation de l'enlèvement de la production de lithium auprès des acteurs majeurs de la chaîne de valeurs du lithium.....	25
Figure 22 : Acteurs majeurs de la filière lithium par catégories de marchés dont sont encadrées les entreprises ayant signé avec Vulcan des contrats d'approvisionnement en lithium géothermal. .	25
Figure 23 : Localisation du Permis Exclusif de Recherches de mines de Lithium dit « Kachelhoffa minéral ». Le périmètre intérieur correspond à un territoire non sollicité en raison de la présence d'une concession de stockage souterrain.	27

Figure 24 : Carte structurale du périmètre sollicité avec en violet le champ de fractures méridional, en vert la zone de failles Illfurth-Bruchsal et en brun le horst de Mulhouse. (Source : GeORG).....	28
Figure 25 : Carte présentant la position des lignes sismiques vintages 2D et des forages profonds dans le périmètre sollicité.....	29
Figure 26 : Interprétation de lignes sismiques à différents endroits du PER du « Kachelhoffa minéral » (Source : GeORG).	29
Figure 27 : Présentation du programme exploratoire pour l'identification du potentiel géothermal au sein du périmètre sollicité.....	31
Figure 28 : Exemple de travaux pédagogique autour du monitoring sismologique : construction du capteur, compréhension du phénomène physique, traitement et interprétation des résultats. (Source : raspberrysake.org).....	33
Figure 29 : (à gauche) Localisation des potentiels sites d'implantations des capteurs sismologiques pédagogiques. (à droite) Projection en surface de la localisation des évènements microsismiques induits durant les phases de développement des puits de Rittershoffen ainsi que quelques mécanismes au foyer associés.....	33
Figure 30 : (à gauche) Source sismique de type camion vibreur Mertz-26 d'une puissance de 276 kN (Source : (Richard et al. 2019)), (à droite) exemples de capteurs sismiques. (Source : Sercel)	34
Figure 31 : (à gauche) Emprises théoriques des sismiques réflexion 3D au sein du périmètre sollicité. (à droite) Exemple d'image 3D du sous-sol obtenu après une acquisition sismique réflexion 3D. (Source : Salaun et al., 2020)	34
Figure 32 : Équipements d'acquisition des données électriques et magnétiques, respectivement une base dite ADU (à gauche) et une base RAU (à droite). (Source : (Darnet et al. 2021)).....	35
Figure 33 : (à gauche) Ligne théoriques considérées pour une exploration par méthodes potentielles. (à droite) Pseudo-section de la résistivité apparente au droit du projet de Rittershoffen. (Source : (Abdelfettah et al. 2019)).	35
Figure 34 : Principe pour un forage géothermique de faible profondeur (<200m). (Source : Atlas-Fondations).....	36
Figure 35 : (à gauche) Emplacement théorique des forages de gradients. (à droite) Exemple de log de température d'un forage de gradient permettant une extrapolation de la température attendue à la cible. (Source : Maurer et al., 2018)	36
Figure 36 : Présentation des 2 RIG de forages de la filiale VERCANA du Groupe Vulcan.	37
Figure 37 : (à gauche) Vue aérienne du site de forage du projet dit ECOGI (Rittershoffen) d'Électricité de Strasbourg.	37
Figure 38 : Le groupe Vulcan se montre actif auprès des communautés locales afin de répondre aux questionnements des citoyens autour du projet de valorisation des ressources minérales et calorifiques des saumures géothermales profondes par le biais de réunions publiques, de visites des sites, de congrès et de l'ouverture de bureaux dédiés (Mannheim, Karlsruhe, Insheim) pour accueillir toute personne souhaitant échanger sur le projet.	39

Table des tableaux

Tableau 1 : Description des principales levées de fonds des deux dernières années.....	24
--	----

1 Préambule

Le présent document tend à proposer un résumé non technique de l'intégralité du dossier de demande d'octroi d'un Permis Exclusif de Recherches de mines de Lithium et de toutes autres substances connexes dit « Kachelhoffa minéral ». Il reprendra la trame conventionnelle d'un tel dossier s'articulant autour des chapitres suivants :

1. L'identité du demandeur
2. La justification des capacités techniques et financières du demandeur
3. Un mémoire technique justifiant des limites du périmètre du titre sollicité
4. Le programme des études et travaux envisagés et l'engagement financier
5. Un document cartographique
6. Une étude d'incidence environnementale

Ainsi, les dossiers 1 et 2 (respectivement l'identité du demandeur et la justification des capacités) seront résumés dans le chapitre 2 du présent document, les éléments cartographiques du dossier 5 seront intégrés pour leur part dans le chapitre 3 de ce document de même que pour le dossier 3, le dossier 4 sera synthétisé dans le chapitre 4 et enfin l'étude d'incidence environnementale sera présentée au chapitre 6.

1.1 Contexte de la demande en lithium

L'intégralité de la chaîne de valeur concernant la fabrication de batteries, secteur nécessitant près de 60% du lithium produit mondialement, met en exergue une quintuple dépendance pour l'Europe, cette dernière n'apparaissant de manière significative dans aucune des grandes étapes amenant au produit final (Figure 1).

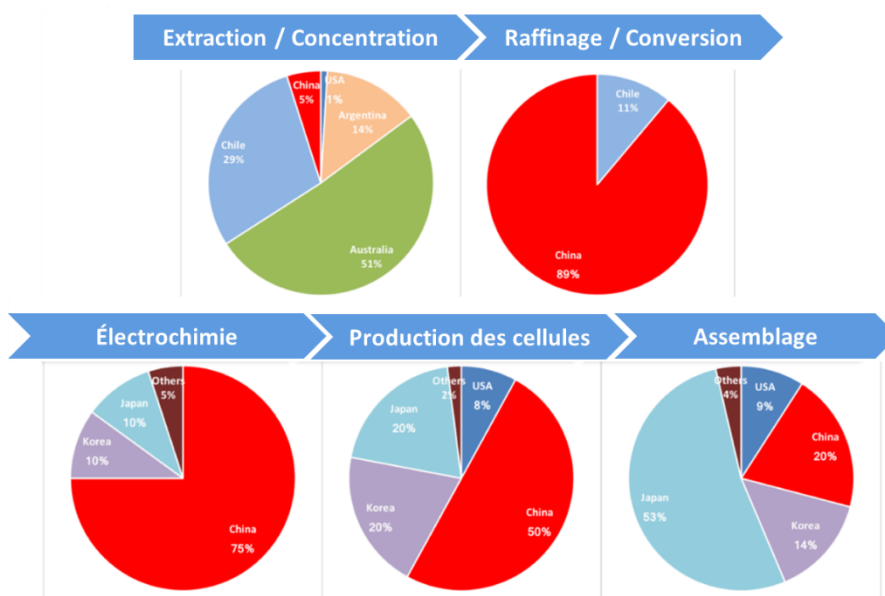


Figure 1 : Description des acteurs majeurs de la chaîne de valeur pour la production des batteries au lithium.
(Source : R. Wills et al., 2018)

Fort de ce constat et s'inscrivant dans la volonté de la transition vers l'électromobilité, l'Europe a d'ores et déjà prévu de relocaliser une partie de cette chaîne de valeur faisant *de facto* augmenter la future demande en lithium (Figure 2).



Figure 2 : (à gauche) Répartition des gigafactories de batteries prévues d'ici 2030 en Europe (Source : CIC energiGune 06/2022). (à droite) L'augmentation de la demande en lithium en Europe d'ici 2030 (Source : Vulcan Annual Report 2022).

Cœur du projet décarbonation de l'Europe, cette transition vers l'électromobilité devra être une réussite car impactant toute une frange de l'économie européenne. En effet, le secteur automobile représente en France plus de 2 millions d'emplois directs et indirects (Source : INSEE) dont 80 000 emplois en Grand Est soit 6% des actifs régionaux (Source : DREETS). Par ailleurs, la Commission Européenne fixe des objectifs environnementaux forts pour que cette transition se fasse selon des critères durables et éthiques (Figure 3).



1. Approvisionnement responsable : De nouvelles procédures obligatoires pour assurer un approvisionnement durable et éthique en matières premières telles que le lithium.



2. Empreinte CO₂ : Toutes les batteries vendues en Europe doivent déclarer leur empreinte carbone. 3 étapes de mise en œuvre : 1/ Déclaration (2024), 2/ Classification (2026), 3/ Seuil (2027). Les batteries ayant l'empreinte carbone la plus élevée seront interdites en Europe.



3. Traçabilité : Toutes les matières premières utilisées dans les batteries doivent être achetées conformément aux lignes directrices reconnues par l'OCDE pour un approvisionnement durable. Grâce à la technologie blockchain, chaque batterie disposera d'un passeport numérique qui suivra tous les composants en amont.



Maroš Šefčovič – Vice-président de la Commission européenne : « La nouvelle réglementation européenne sur le CO₂ des batteries aura un impact immédiat sur le marché, qui jusqu'à présent n'était dicté que par le prix ».

Thierry Breton – Commissaire Européen : « Nous sommes 100% dépendants des importations de lithium. L'UE, si elle trouve la bonne approche environnementale, sera autosuffisante dans quelques années, en utilisant ses propres ressources ».

Figure 3 : Principe d'encadrement de la filière lithium par la Commission Européenne (Source : EU)

Le Groupe Vulcan entend mettre en avant une stratégie proactive pour assurer une production de lithium géothermal au bilan carbone le plus faible possible d'ores et déjà encadré par une certification du coût écologique de l'ensemble de ses activités. Outre l'impact environnemental extrêmement réduit grâce au procédé d'extraction de lithium détenu par Vulcan (Brevet : W0

2021/204375 A1), l'autre facteur déterminant pour aboutir à un meilleur bilan carbone est la drastique réduction du transport de la matière première uniquement envisageable en produisant directement sur le territoire européen (Figure 4).

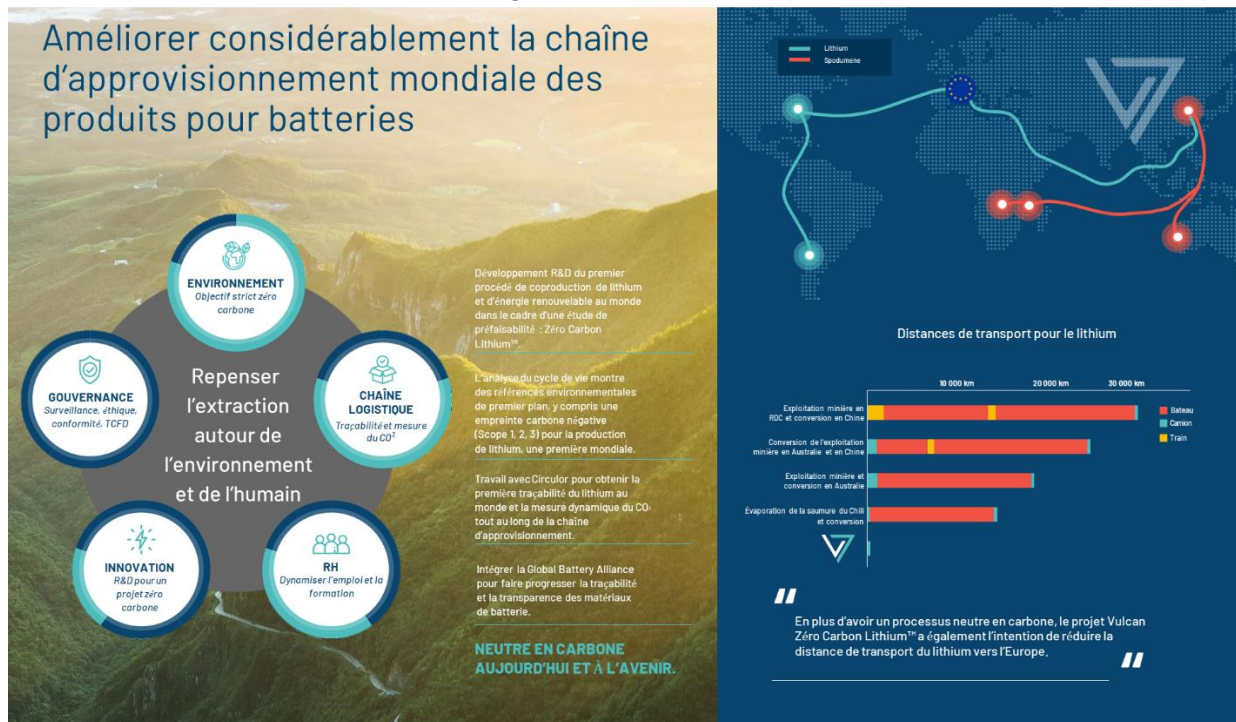


Figure 4 : (à gauche) le 5 piliers RSE du projet porté par le Groupe Vulcan, (à droite) la différence en termes de transport de la production de lithium entre les gisements

En effet, le Groupe Vulcan entend développer en France, en Allemagne et en Italie un projet de production de lithium géothermique au cœur de l'Europe permettant de fait de réduire l'impact environnemental du seul transport de la matière première des batteries lithium-ion.

1.1 Le projet intégré de Vulcan Energie

A l'heure où de nombreux industriels, académiques et EPIC mettent en œuvre diverses solutions d'extraction, il convient de rappeler les particularités des technologies mises en œuvre par Vulcan. Il ne s'agit en aucun cas d'une extraction de type mine à ciel ouvert ou de tout autre type de production nécessitant d'excaver des roches pour les traiter en surface. En effet, il est connu depuis plusieurs décennies que les eaux géothermales profondes du Fossé Rhénan possèdent une concentration naturelle en lithium non négligeable de l'ordre de 180 mg/l. A l'instar des projets d'Alsace du Nord (Soultz-sous-Forêts, Rittershoffen) ou Allemand (Landau, Insheim), le principe consiste à réaliser des forages atteignant les couches géologiques profondes contenant cette eau géothermale et de créer une boucle fermée entre les puits producteurs et les puits injecteurs afin que la ressource en chaleur et en lithium prélevée lors de son passage en surface puisse se reconstituer dans le sous-sol (Figure 5).

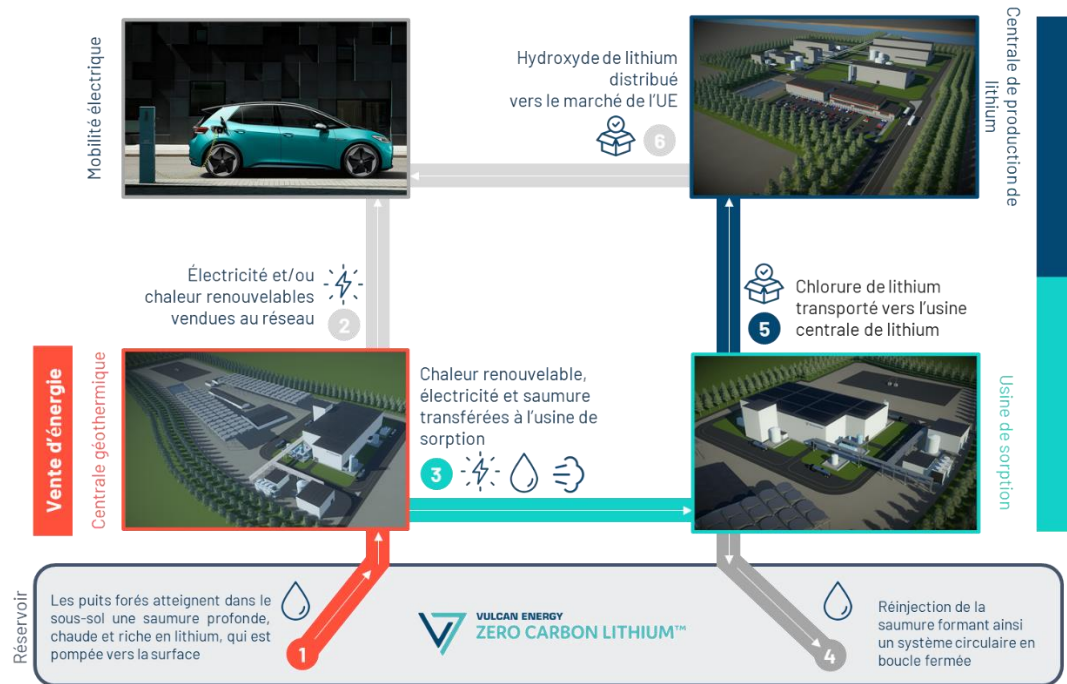


Figure 5 : Principe du projet porté par Vulcan Énergie France basé sur une capacité à adapter le projet aux différentes situations permettant la co-production de l'énergie géothermique et du lithium.

2 Identité du demandeur et capacités techniques et financières

2.1 Structuration du groupe Vulcan

Le Groupe Vulcan s'articule autour de la maison mère Vulcan Energy Resources, historiquement l'entreprise ayant lancé le concept de production d'énergie renouvelable couplée à l'extraction du lithium géothermal, et des filiales déclinant de manière opérationnelle le projet technique (Vulcan Energy Italy, Vulcan Energie France et Vulcan Energie Ressourcen pour le territoire Allemand, Figure 6). La maison mère possède 100% des titres de ces sociétés à l'exception de l'entreprise Kuniko (environ 20% des titres) qui ambitionne la production de Cobalt en Norvège.

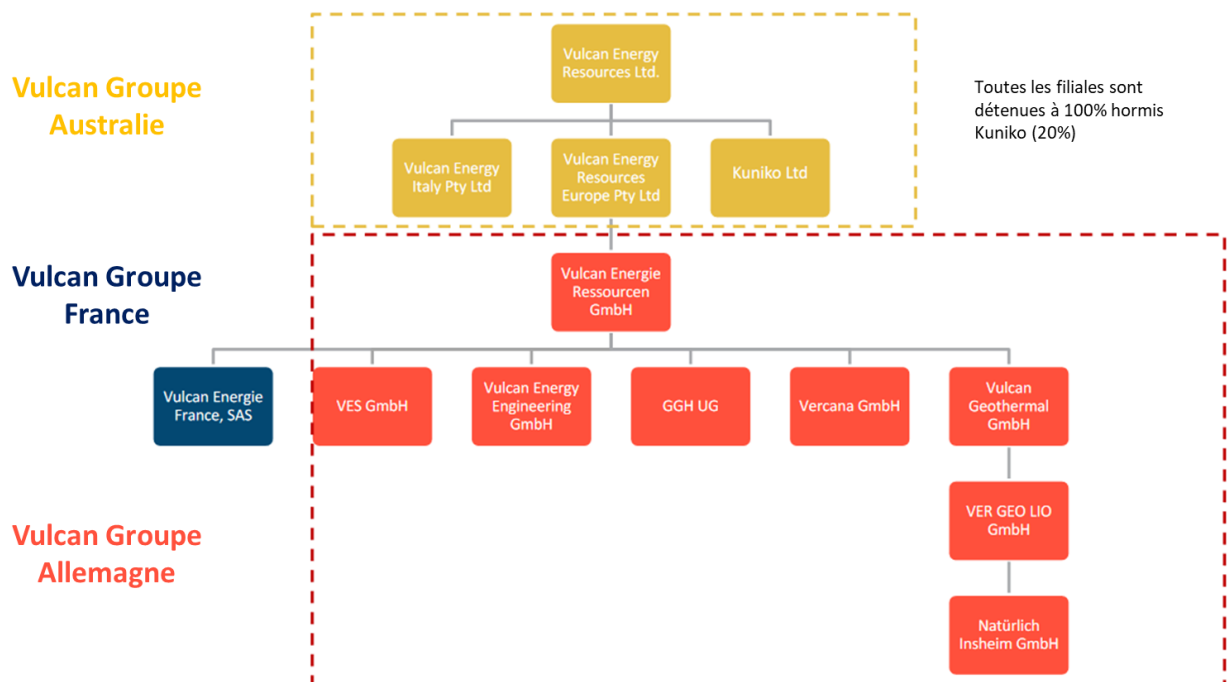


Figure 6 : Architecture des sociétés du Groupe Vulcan.

2.2 Chronogramme du développement

Le Groupe Vulcan, créée en 2018, possède 5 années d'ancienneté et a connu un fort développement lors des deux dernières années (Figure 7) principalement lié à la finalisation de la première phase de levée de fonds ayant permis de sécuriser plus de 250 m€. La stratégie a principalement été de se doter des compétences internes permettant d'assurer la phase d'exploration au design des centrales en passant par les forages. Ainsi, l'intégralité de la chaîne de valeur de la production d'énergie renouvelable (chaleur, chaleur fatale, électricité) et de lithium géothermal est actuellement gérée en interne. Le Groupe Vulcan est maintenant composé de plus de 260 employés principalement basés en Allemagne dans les locaux de Karlsruhe.

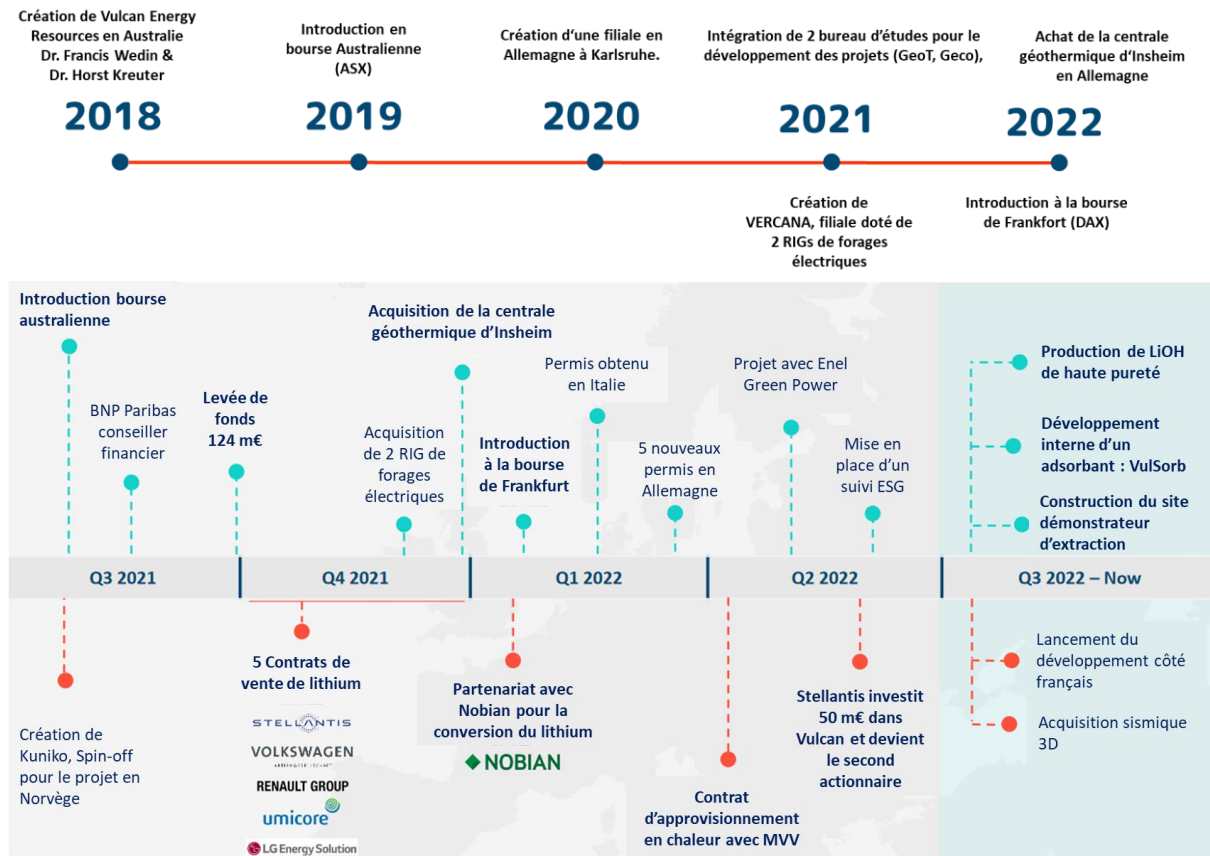


Figure 7 : (en haut) Chronogramme simplifié du développement du Groupe Vulcan depuis sa création en 2018 et (en bas) focus sur les 2 dernières années.

2.3 Capacités techniques

2.3.1 Les entités opérationnelles

La technicité afin de parvenir à la mise en œuvre de l'intégralité du projet est conséquente. Sur la partie concernant le développement du projet géothermique, Vulcan dispose d'une équipe ayant plus de 20 ans d'expertise dans ce domaine (ex-entreprises GECO spécialiste dans le dimensionnement des installations de surfaces (centrale géothermique, extraction de lithium, réseau de chaleur) et GeoT spécialiste dans les études sous-sol). De plus, par le biais de VERCANA, filiale possédant les RIG de forages (électriques), Vulcan sera en mesure d'assurer une maîtrise interne complète durant la phase de forage. De plus, possédant également le site opérationnel d'Insheim, Vulcan met en œuvre le suivi environnemental et d'exploitation de la centrale géothermique avec, là encore, des équipes internes dévolues à ces missions. C'est ainsi toutes les compétences nécessaires à l'architecture d'un projet géothermie, des études à l'exploitation d'une centrale géothermique, qui sont intégrées au sein du Groupe Vulcan (Figure 8).



Figure 8 : Description des 4 structures du Groupe Vulcan qui porte le projet de production d'énergie renouvelable et de lithium décarboné.

Vulcan Energy Resources Ltd représente la maison mère. Elle emploie directement les membres de l'équipe de direction et du conseil d'administration et a en charge la stratégie, la gouvernance et le reporting aux marchés financiers.

Vulcan Energie Ressourcen GmbH est la filiale allemande qui emploie le personnel technique pour le développement du projet « Zero Carbon Lithium™ ». Elle correspond à la Holding qui détient toutes les filiales opérationnelles.



Vulcan Energy SubSurface est la société d'ingénierie de subsurface responsable des projets de géothermie et de lithium géothermal, des études de design au forage des réservoirs en passant par toutes les phases exploratoires. Anciennement Geothermal Engineering GmbH (GeoT).



Vulcan Energy Engineering est spécialisée dans le design et la réalisation des centrales géothermiques pour la production d'électricité et/ou de chaleur. Ses ingénieurs interviennent dès la phase forage en architecturant la plateforme de forage. Les équipes ont également en charge le design des usines de sorption et des usines de raffinage du chlorure de lithium. Précédemment connu sous le nom de Global Engineering and Consulting Company GmbH (Gec-Co).



Vercana possède et exploite actuellement 2 RIG de forage électrique qui possède les caractéristiques requises pour forer aux profondeurs nécessaires pour atteindre le réservoir géothermique et lithiné.

Natürlich Insheim est la centrale géothermique électrogène opérationnelle du groupe.

2.3.2 La centrale géothermique d'Insheim

La centrale géothermique « Natürlich Insheim » est située sur le banc communal de la ville d'Insheim (2 175 habitants) au sein du Land Rheinland-Pfalz (Figure 9). Le projet débuta en 2004 par des études de faisabilité et par des phases d'explorations du sous-sol. Le premier forage fut réalisé en 2008 et le second en 2009. Les tests d'injectivités se révélant insuffisant et sismogénique (séisme ressenti de magnitude 2.7 en 2010), une seconde « jambe » au puits injecteur fut forée en 2010. Les tests de production montrèrent la faisabilité de la production et la mise en service fut finalement réalisée en 2012. La centrale produit en continu (> 8 000 h/an) une saumure géothermale à une température de 165 °C pour un débit maximal de 80 l/s. La puissance de l'ORC est de 4,8 MW et la production annuelle est de 33 GWhe. Une production complémentaire de 10 MWth est actuellement à l'étude. Elle emploie actuellement 11 personnes à temps-plein sur le site.



Figure 9 : Vue aérienne de la centrale géothermique d'Insheim représentant environ 1 ha de surface.

2.3.3 Pilotes d'extraction et laboratoire d'analyse

Depuis près de 2 années a été installé un pilote d'extraction du lithium géothermal basé sur la technologie dit de sorption consistant en un piège structural capture de manière très sélective le lithium présent dans les saumures géothermales. Utilisé de manière commerciale depuis de nombreuses années, les équipes de chimistes et d'ingénieurs procédés de Vulcan ont travaillé sur l'adaptation de cette technologie aux saumures du Fossé Rhénan Supérieur. Pour ce faire, un dispositif dit Direct Lithium Extraction (DLE) a été installé depuis 2 ans sur la centrale géothermique d'Insheim (Figure 10) et a permis de tester les différents matériaux de captures du lithium. Les

travaux effectués avec notre partenaire Dupont a permis de mettre en évidence la technologie d'extraction et son excellent rendement (>90%) sur les saumures réelles de la centrale d'Insheim. Les équipes de Vulcan ont également réussi à développer leur propre matériel de capture (VulSorb™).



Figure 10 : (à gauche) Installation pilote d'extraction du lithium, unité de prétraitement de la saumure. (à droite) Installation pilote d'extraction du lithium, unité DLE.

Cette installation DLE est conçue pour fonctionner à pression atmosphérique, ce qui implique qu'en amont de l'installation la saumure est dépressurisée pour passer d'une pression d'environ 20 bars à la pression atmosphérique. Cette dépressurisation représente une perte énergétique car après extraction du lithium il est nécessaire de re pressuriser la saumure avant réinjection dans le circuit géothermal.

La conception d'une installation DLE fonctionnant à la pression du réseau d'eau géothermale présente donc un intérêt important pour maximiser l'efficacité énergétique et économique du procédé d'extraction du lithium. Cette installation pilote est d'ores et déjà en test depuis plusieurs mois sur le site de la centrale géothermique d'Insheim (Figure 11).



Figure 11 : Installation d'extraction directe du lithium conçue pour un fonctionnement à la pression de circulation de la saumure géothermale.

Les caractéristiques du chlorure de lithium extrait des saumures géothermales ainsi que la performance des matériaux de captures ont pu être directement testées au sein du laboratoire chimique de Vulcan à Karlsruhe (Figure 12 et Figure 13).



Figure 12 : Laboratoire d'analyse du Groupe Vulcan à Karlsruhe.

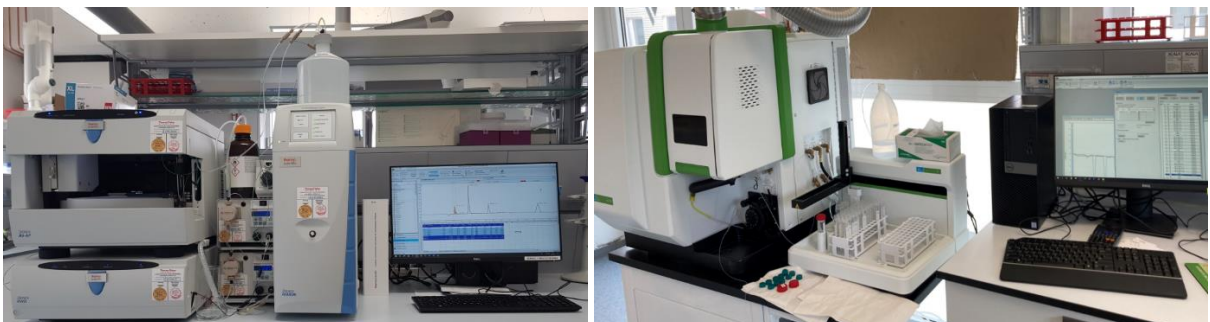


Figure 13 : Équipements utilisés pour les mesures analytiques. Chromatographie à échange d'ions, IC (à gauche). Spectrométrie à plasma à couplage inductif ICP-OES(à droite).

2.3.4 Démonstrateur d'extraction

L'usine de démonstration est en cours de construction sur le site de Landau in der Pfalz (Figure 14 et Figure 16). La construction sera achevée en début 2023.



Figure 14 : Image aérienne de la centrale géothermique de Landau et positionnement en surface des équipements dédiés au démonstrateur d'extraction de lithium.

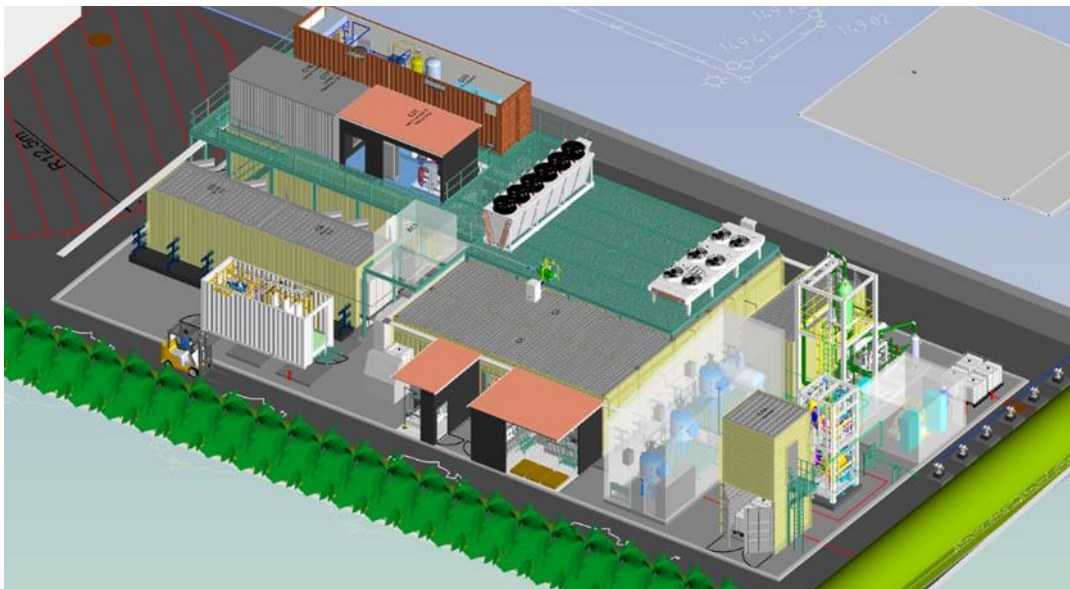


Figure 15 : Vue 3D de l'implantation de l'usine de démonstration de capacité 5m³/h, en construction sur le site de Landau in der Pfalz.

Cette unité (Figure 15 et Figure 17) aura une capacité de traitement de 5m³ de saumure par heure et couvrira l'ensemble du procédé jusqu'à la production d'une solution de chlorure de lithium de haute pureté, c'est-à-dire l'extraction directe du lithium, la concentration de la solution et les différentes étapes de purification.

Les objectifs de cette usine pilote sont les suivants :

- Upscaling du procédé (capacité multipliée par 200 par rapport à la première usine pilote), fonctionnement du procédé de façon stabilisée sur une longue durée et collecte de données pour confirmer les hypothèses de dimensionnement retenues,
- Entrainement des équipes opérationnelles afin de qualifier toutes les règles HSE,
- Pilotage de l'ensemble du procédé de production de la solution de chlorure de lithium de haute pureté,
- Ajout des unités de concentration et purification de la solution après l'étape de DLE,
- Pilotage de l'étape de DLE sous pression à plus grande échelle,
- Réalisation d'essais de dimensionnement des différents équipements et présélection des fournisseurs pour l'étape commerciale,
- Sélection des matériaux à utiliser à l'échelle commerciale,
- Alimentation en solution de chlorure de lithium de l'unité de production d'hydroxyde de lithium monohydrate par électrolyse (usine CLP),
- Production de chlorure de lithium permettant de produire l'équivalent de 5 à 10 tonnes par mois d'hydroxyde de lithium.



Figure 16 : Mise en place de la dalle béton et des conteneurs qui hébergeront le démonstrateur d'extraction de lithium sur le site de Landau.



Figure 17 : Réception des cuves d'extraction (à gauche) et montage du système d'automatisation du processus de concentration de la saumure en lithium géothermal (à droite).

2.3.5 Pilote de conversion

Pour la conversion du chlorure de lithium en hydroxyde de lithium, le groupe Vulcan a mis en œuvre la même stratégie consistant à faire une analyse détaillée des technologies existantes et en se concentrant sur celles ayant d'ores et déjà fait leurs preuves et ne nécessitant pas une longue R&D afin d'aboutir à un process viable pour le lithium géothermal. Ainsi, un procédé similaire à l'électrolyse pour la production de chlore et de soude, dont l'Allemagne est le premier producteur, a été retenu. Afin de qualifier les équipes et permettre une montée en puissance sereine, une centrale de conversion à l'échelle 1:200 a été désignée (Figure 18). Une parcelle a été sécurisée au sein d'un des plus grands parcs chimiques d'Allemagne (parc chimique de Höchst à Frankfurt) et non loin des infrastructures de notre partenaire Nobian (Figure 19).

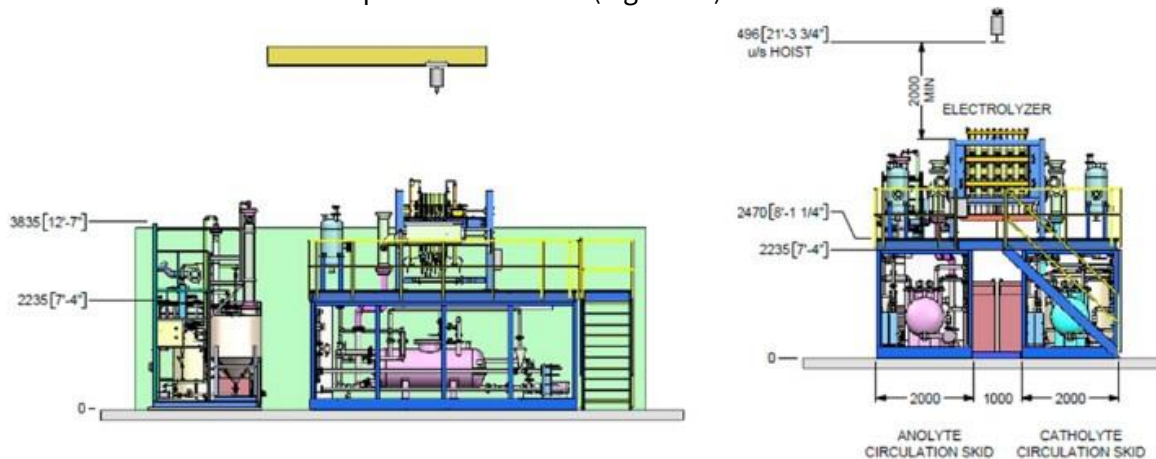


Figure 18 : Schéma de l'usine de conversion (1:200).



Figure 19 : Site d'implantation de la centrale de conversion localisé dans le parc chimique d'Höchst de Frankfurt (un des plus grands d'Allemagne avec 460 hectares) proche des infrastructures de notre partenaire Nobian.

Enfin, les premiers tests de conversion du chlorure de lithium en hydroxyde de lithium provenant des saumures géothermales d'Insheim a abouti à un produit respectant les spécifications des constructeurs de batteries avec un taux de 57.1% de LiOH (Figure 20) et un très faible taux d'impuretés. (Source : Annonce à l'ASX du 24 octobre 2022).



LiOH.H ₂ O			Specification (ppm)	
COMPONENT	SPECIFICATION	1242-44-2	1242-44-2 (ppm)	
Approx Mass (g)		5000		
LiOH (wt %)	≥ 56,5	57,1	Al	<10
Li ₂ CO ₃ (wt %)	≤ 0,3	--	B	<10
Cl (ppm)	≤ 15	--	Ca	<10
MMI - Metallic Magnetic Impurities Cr + Fe + Ni + Zn (ppb)	≤ 100	--	Cd	<10
			Cr	<10
			Cu	<10
			Fe	<10
			K	<10
			Mg	<10
			Mn	<10
355-710µm (%)	≤ 80	--	Na	<30
>710 µm (%)	≤ 15	--	Ni	<10
Tap Density	≥ 0,5	--	Pb	<10
Water, H ₂ O (wt %)	41,5-42,9	42,3	S	<100
Insolubles in acid (wt. %)	≤ 0,010	--	Zn	<10

Figure 20 : Résultats finaux de la conversion du chlorure de lithium issue de la centrale géothermique d'Insheim en hydroxyde de lithium qualité batterie après raffinage par électrolyse.

2.4 Capacités financières

Afin de porter financièrement son projet, Vulcan Energy a procédé à 5 principales levées de fonds (Tableau 1) permettant, par leurs réussites, de sécuriser la première phase du projet.

Date	Montant	Type d'investisseur
24 juin 2020	3 M€	Investisseur ESG Investisseur institutionnel
8 juillet 2020	Non communiqué	EIT InnoEnergy (Fond Européen)
4 février 2021	76 M€	Handcock Prospecting BNP Paribas Energy Transition Fund
14 septembre 2021	128 M€	Investisseurs institutionnels
24 juin 2022	50 M€	Stellantis

Tableau 1 : Description des principales levées de fonds des deux dernières années

Le modèle financier du Groupe Vulcan est basé sur les deux débouchés possibles dans le cadre de la production de saumures géothermales profondes. D'une part, l'entreprise sécurise la vente d'énergie, soit électrique, soit sous forme de chaleur. Les contrats de vente d'électricité ont d'ores et déjà été sécurisés pour les projets Outre-Rhin, où l'équivalent du complément de rémunération, anciennement valide dans le cadre de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) française, est toujours valable en Allemagne. Vulcan Energy a par ailleurs sécurisé un débouché chaleur avec l'opérateur MVV Energie AG (MVV). Le contrat à long terme de 20 ans concerne la livraison de chaleur

à partir de 2025 avec la fourniture d'un minimum de 240 000 MWh par an à un maximum de 350 000 MWh par an au réseau de chaleur de Mannheim.

Concernant l'enlèvement du lithium, l'intégralité de la future production de lithium géothermal a été sécurisée dans le cadre de 5 contrats d'enlèvements avec des acteurs majeurs de chaque filière nécessitant du lithium (Figure 21 et Figure 22).



Figure 21 : Présentation des contrats de sécurisation de l'enlèvement de la production de lithium auprès des acteurs majeurs de la chaîne de valeurs du lithium.

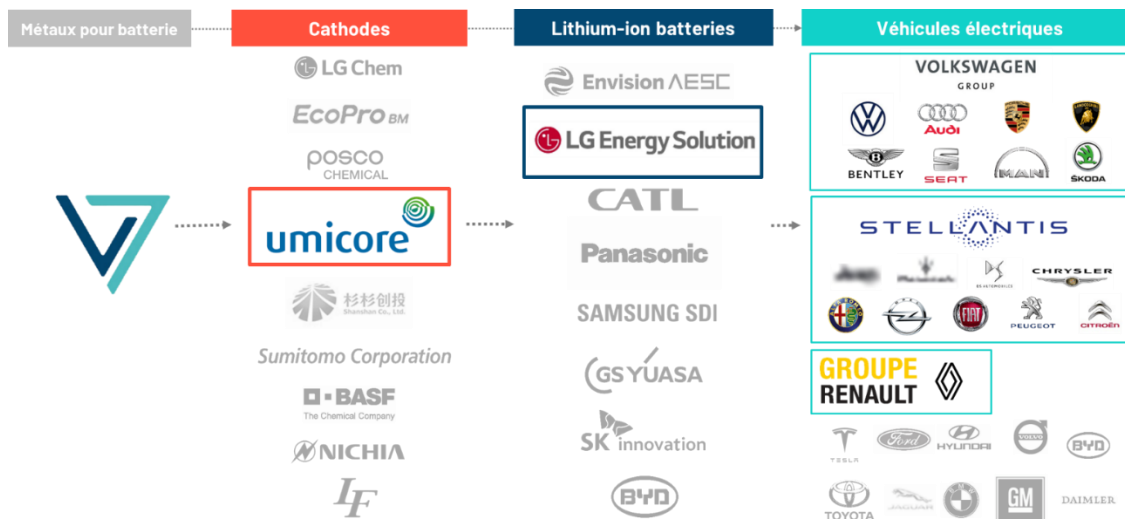


Figure 22 : Acteurs majeurs de la filière lithium par catégories de marchés dont sont encadrées les entreprises ayant signé avec Vulcan des contrats d'approvisionnement en lithium géothermal.

3 Mémoire technique

L'emprise sollicitée par cette demande de Permis Exclusif de Recherches (PER) de mines de Lithium concerne une superficie de 480 km² (Figure 23).

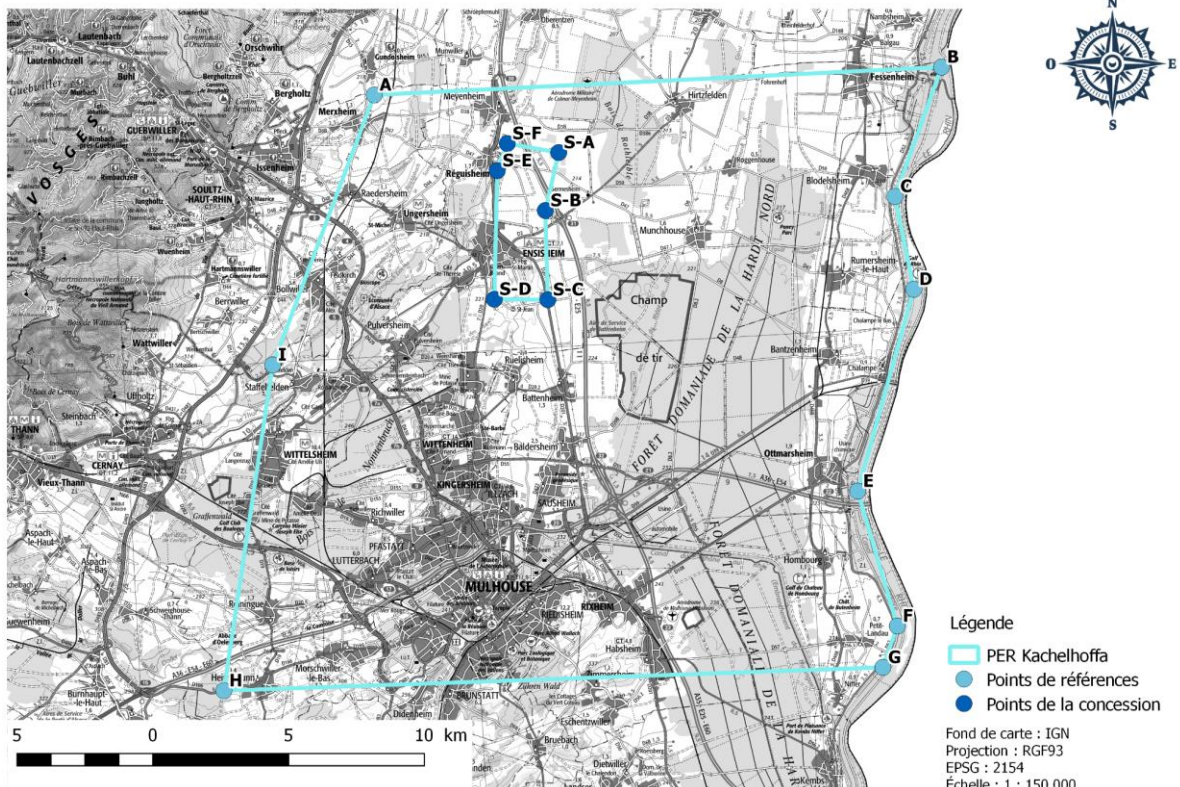


Figure 23 : Localisation du Permis Exclusif de Recherches de mines de Lithium dit « Kachelhoffa minéral ». Le périmètre intérieur correspond à un territoire non sollicité en raison de la présence d'une concession de stockage souterrain.

Sur les 480 km² que représente sa superficie, près de 115 km² sont directement situés dans la forêt domaniale de la Hardt Nord. Il convient d'indiquer de manière claire, qu'aucun projet n'est envisagé au sein de cette zone de protection de l'environnement ni dans toutes les autres forêts ou sites protégés. Le fait que l'emprise comprenne une telle superficie de surface protégée permet uniquement de bénéficier, de manière exclusive, aux données du sous-sol qui pourraient être acquises dans ce périmètre pour aider à la compréhension générale des structures géologiques dans le PER. Ainsi, seule une cinquantaine de km² de foncier sont réellement concernés par une possible implantation d'un projet de production de chaleur géothermale.

L'objectif de Vulcan Énergie France, sera d'identifier avec les collectivités locales, une parcelle pertinente du point de vue :

- de la protection de la Nature ;
- du développement économique du territoire ;
- de la revalorisation d'un site pollué ou du type friche industrielle.

L'objectif sera d'effectuer la confrontation des impératifs de protection de la nature, de développement du territoire et des ressources du sous-sol afin d'identifier la parcelle réunissant tous les critères nécessaires avant d'envisager le développement d'un projet

Concernant les connaissances sous-sol, par le biais d'un bilan et d'une analyse des données géophysiques et des données de puits, il est possible d'établir la situation géologique et structurale au sein du périmètre sollicité dans le cadre de cette demande de Permis Exclusif de Recherches.

Ainsi, on observe dans le périmètre sollicité 3 grands secteurs : en violet le champ de fractures méridionaux, en vert la zone de failles d'Ilfurth-Bruchsal et en brun le horst de Mulhouse (Figure 24). Dans le champ de fractures méridional de nombreuses failles orientés N-S, NE-SO, NO-SE, NNE-SSO et NNO-SSE se superposent et interfèrent entre elles (Source : GeORG). Les failles transversales orientées NE-SO et NO-SE descendent jusque dans le socle, tandis que les failles des structures de grabens et de horst, orientées NNE-SSO, prennent racine dans les couches salifères et d'anhydrites du Muschelkalk moyen. La zone de cisaillement d'Ilfurth-Bruchsal traverse et relie les parties centrales et méridionales du Fossé Rhénan Supérieur. Il s'agit d'une zone constituée d'un complexe de failles reliées entre elles par leur géométrie et par leur cinématique. En effet cette zone se compose de plusieurs failles parallèles ou reliées entre elles par des failles transversales nord-sud. En profondeur les failles occidentales plongent majoritairement vers l'est alors que les failles orientales s'inclinent vers l'ouest. Elles semblent toutes s'enraciner dans le socle. Vers le sud, cette zone, comparée au reste du fossé, est surmontée d'une couverture tertiaire très réduite et émerge par endroit sous forme de moyenne montagne constituée de roches mésozoïques.

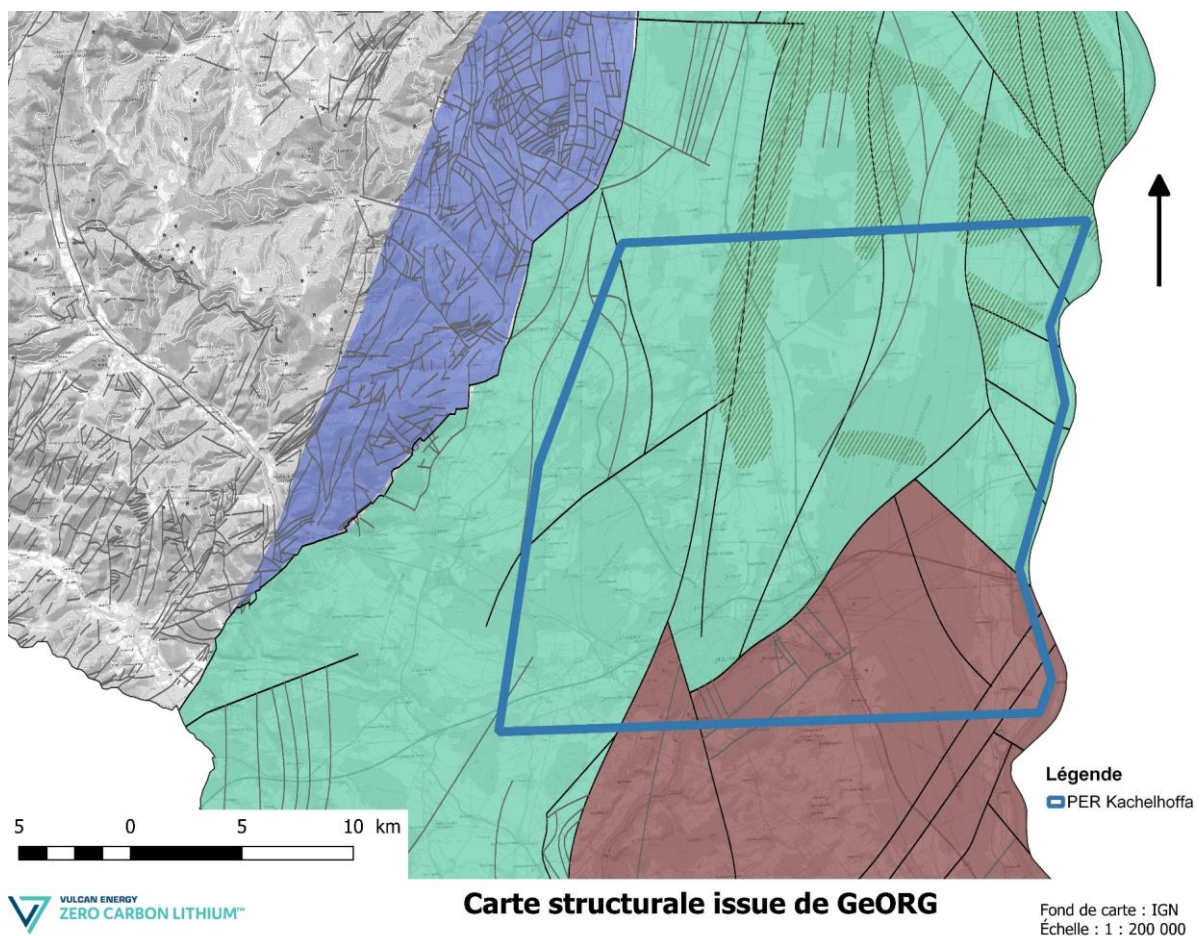


Figure 24 : Carte structurale du périmètre sollicité avec en violet le champ de fractures méridional, en vert la zone de failles Ilfurth-Bruchsal et en brun le horst de Mulhouse. (Source : GeORG)

La présence de ces structures dans l'emprise sollicitée revêt une importance particulière car ces dernières se sont montrées être des gîtes géothermiques producteurs (horst de Sultz-sous-Forêts et système faillé de type graben de Rittershoffen) avec des concentrations de Lithium relativement homogène au centre du fossé.

Ces structures ont été identifiées sur l'interprétation de lignes sismiques 2D vintage et certaines ont été recoupées par les forages exploratoires pétroliers profonds (Figure 25).

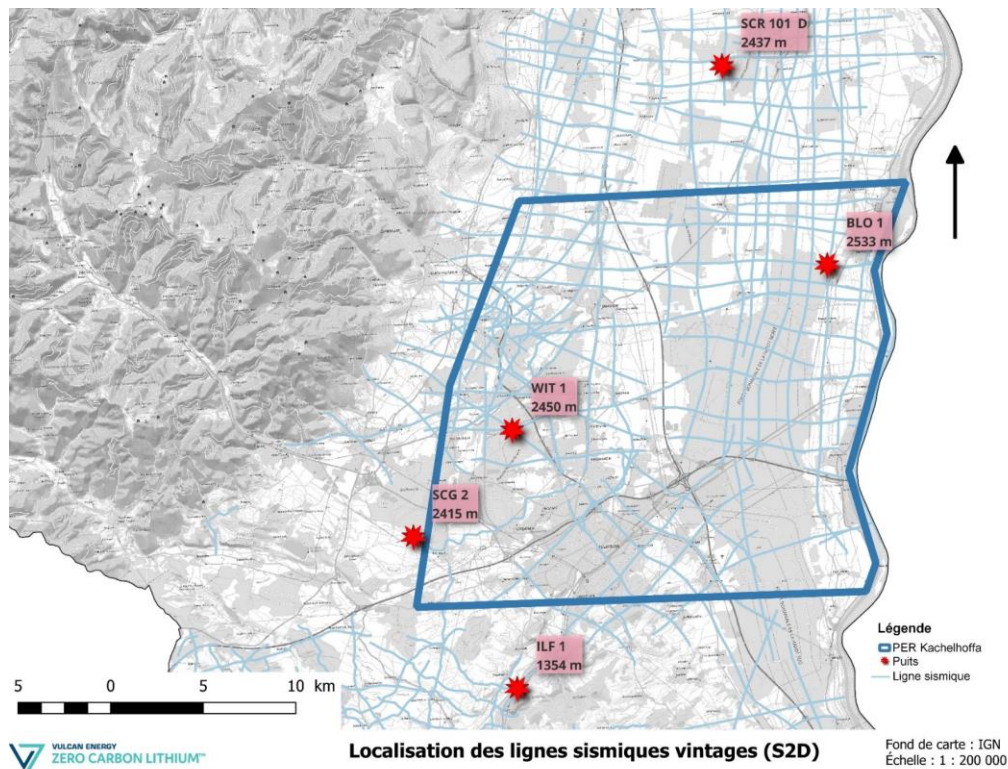


Figure 25 : Carte présentant la position des lignes sismiques vintage 2D et des forages profonds dans le périmètre sollicité.

Enfin, les profondeurs prévisionnelles de l'interface socle-sédiments s'échelonnent entre [1 500 – 3 500] m (Figure 26). Ces profondeurs sont bien dans la gamme pour lesquelles des projets de production de chaleur, d'électricité et d'extraction de lithium sont en opération sans désagrément pour l'environnement et les populations (respectivement 2 700m de profondeur pour Rittershoffen et 3 600m pour Insheim et Landau).

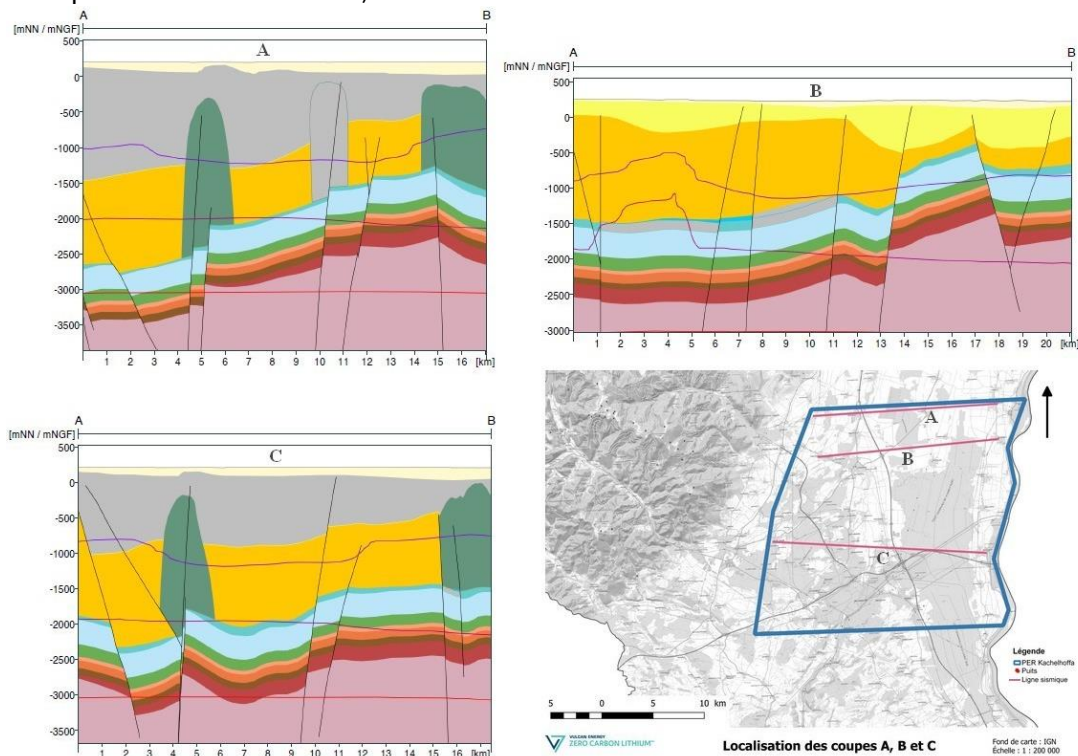


Figure 26 : Interprétation de lignes sismiques à différents endroits du PER du « Kachelhoffa minéral » (Source : GeORG).

4 Programme des travaux d'exploration

Il convient de rappeler que dans le cadre d'un Permis Exclusif de Recherches, le développement du projet s'effectue dans des temps longs atteignant la réalisation des ouvrages après 3 à 5 années d'études préalables.

Les données d'exploration géophysique anciennes identifiées et analysées dans le cadre du Mémoire Technique ne sont pas de qualité suffisante pour établir de manière formelle la position de la ressource géothermale au sein du périmètre sollicité. Ainsi, un programme d'exploration multidisciplinaire complémentaire est proposé afin de s'assurer de la présence de la ressource et de la possibilité de sa mise en production (Figure 27). Les méthodes qui seront mises en œuvre respecteront l'état de l'art et les plus hauts standards de l'industrie. Ainsi, il sera proposé de réaliser plusieurs méthodes d'exploration :

- 1) Une écoute sismologique de l'occurrence d'évènements naturels ;
- 2) Une acquisition de sismique réflexion 3D ;
- 3) Une acquisition de méthodes potentielles (gravimétrie / CSEM) ;
- 4) Des forages de gradient de faible profondeur (< 200m) ;
- 5) Et enfin, si une cible a été identifiée, un forage exploratoire profond.

Chacune de ces méthodes ont un impact très limité, soit spatialement, soit temporellement et sont mises en œuvre de manière fréquente sur le territoire français et même plus spécifiquement en Alsace. Chacune de ces opérations sur le terrain seront précédées des dossiers de déclaration ou de demande, transmis à la Préfecture, décrivant la nature des travaux, l'emprise concernée, le programme d'exécution et les enjeux environnementaux considérés. A ces méthodes nécessitant un déploiement sur le terrain, s'ajoute des méthodes annexes n'entraînant aucun impact sur le terrain (prélèvement de saumures puis mesure géochimique en laboratoire, diaggraphie du puits d'exploration).

Une description succincte de ces méthodes est proposée :

1) Une écoute sismologique de l'occurrence d'évènements naturels ;

L'objectif est d'établir un état de référence de la sismicité naturel au sein du périmètre sollicité. Les zones de circulation de fluides sont naturellement le siège de séismes de magnitude très faible mais indiquant la présence de boucle de convection. Ainsi, il sera proposé de déployer plusieurs dizaines de capteurs agiles (Figure 28) permettant à la fois de densifier le réseau de surveillance mais également d'expliquer aux habitants concernés les résultats de cette surveillance sismologique (Figure 29).

Type de capteur :

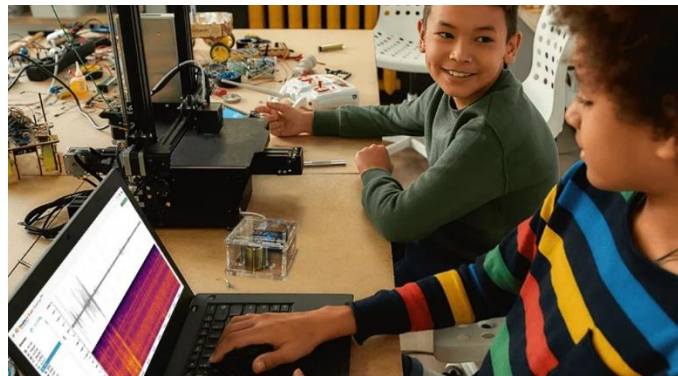


Figure 28 : Exemple de travaux pédagogique autour du monitoring sismologique : construction du capteur, compréhension du phénomène physique, traitement et interprétation des résultats. (Source : raspberrysake.org)

Emprise concernée et exemple de résultat : déploiement du capteur en Mairie et/ou dans les écoles et/ou chez des particuliers

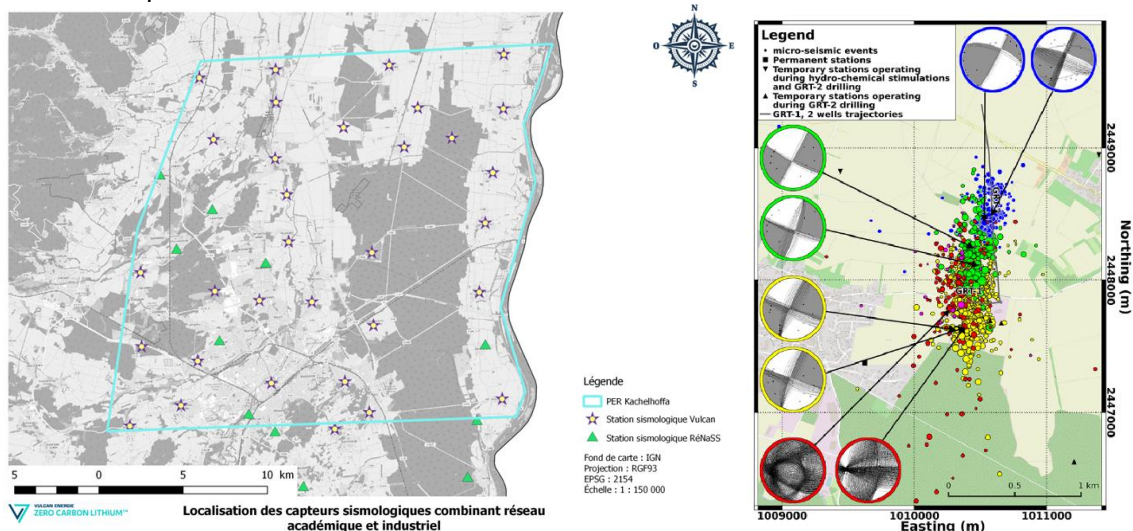


Figure 29 : (à gauche) Localisation des potentiels sites d'implantations des capteurs sismologiques pédagogiques. (à droite) Projection en surface de la localisation des évènements microsismiques induits durant les phases de développement des puits de Rittershoffen ainsi que quelques mécanismes au foyer associés.

Durée de mise en œuvre : toute la durée d'obtention du Permis Exclusif de Recherches

Impact environnemental : aucun pour les capteurs agiles, quelques m² pour les stations définitives demandées par Arrêté Préfectoral.

2) Une acquisition de sismique réflexion 3D ;

L'objectif de cette méthode d'acquisition est d'établir le plus finement possible l'architecture du sous-sol. Il sera possible, après le passage des camions vibrateurs et l'enregistrement des données au sein des capteurs déployés en surface (Figure 30), de connaître la profondeur de chaque couche géologique, la position des failles et les structures géologiques présentes au sein du périmètre sollicité (Figure 31).

Type de capteur :

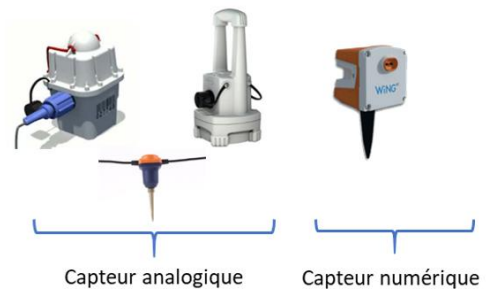


Figure 30 : (à gauche) Source sismique de type camion vibreur Mertz-26 d'une puissance de 276 kN (Source : (Richard et al. 2019)), (à droite) exemples de capteurs sismiques. (Source : Sercel)

Emprise concernée et exemple de résultat :

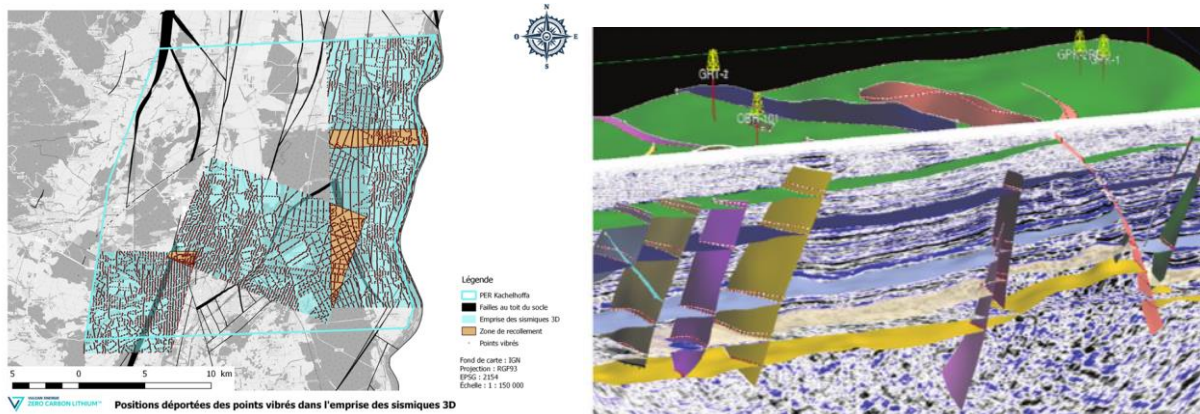


Figure 31 : (à gauche) Emprises théoriques des sismiques réflexion 3D au sein du périmètre sollicité. (à droite) Exemple d'image 3D du sous-sol obtenu après une acquisition sismique réflexion 3D. (Source : Salaun et al., 2020)

Emprise concernée : 130 km² (emprise théorique)

Durée de mise en œuvre : environ 1 mois chaque été après l'obtention du Permis Exclusif de Recherches

Impact environnemental : quasi nul car anticipation des zones à protéger et passage des véhicules principalement sur routes et chemins

3) Une acquisition de méthodes potentielles (gravimétrie / CSEM) ;

L'objectif des méthodes dites potentielles est d'aller au-delà des considérations de structures géologiques et de proposer une caractérisation plus pétrophysique de l'encaissant en s'appuyant sur l'anomalie de densité (en gravimétrie) et la conduction / susceptibilité magnétique (en méthode électrique et magnétique) (Figure 33). Il s'agit, à l'instar de l'acquisition sismique, de déployer des récepteurs en surface (Figure 32).

Type de capteur :



Figure 32 : Équipements d'acquisition des données électriques et magnétiques, respectivement une base dite ADU (à gauche) et une base RAU (à droite). (Source : (Darnet et al. 2021))

Emprise concernée et exemple de résultat :

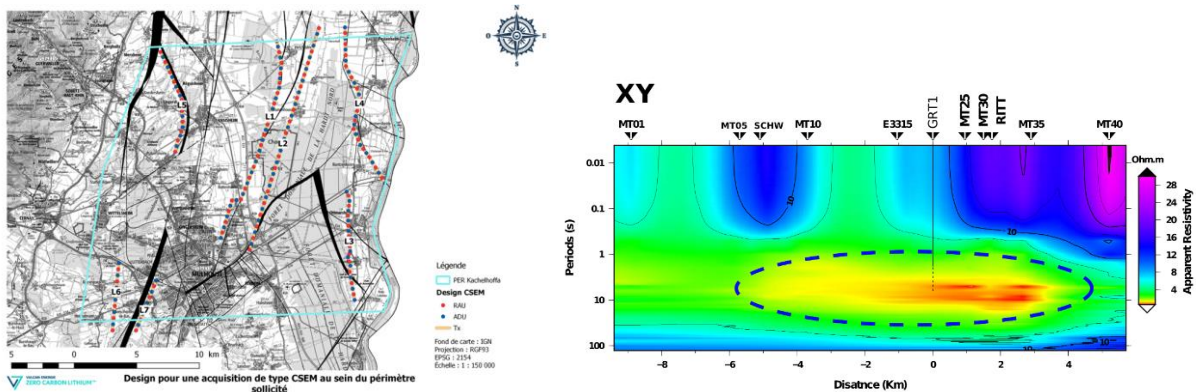


Figure 33 : (à gauche) Ligne théoriques considérées pour une exploration par méthodes potentielles. (à droite) Pseudo-section de la résistivité apparente au droit du projet de Rittershoffen. (Source : (Abdelfettah et al. 2019)).

Durée de mise en œuvre : Environ 2 semaines d'acquisition sur le terrain

Impact environnemental : quasi nul car acquisition principalement le long des axes routiers. Une étude spécifique pourra être menée avec le BRGM au regard de la source CSEM qui sera utilisée.

4) Des forages de gradient de faible profondeur (< 200m) ;

Il a été montré que la pile sédimentaire en Alsace conduisait de manière très homogène la chaleur du sous-sol selon une conduction thermique que les 200 premiers mètres nous permettaient d'apprécier avec une incertitude acceptable. Ainsi, les anomalies thermiques, identifiables par un gradient thermique localement plus élevé, permettra de discerner des zones de plus fortes circulations et donc un potentiel réservoir géothermique et lithiné (Figure 35). Pour ce faire, une trentaine de forages d'une profondeur inférieure à 200m (Figure 34) seront réalisés dans l'emprise sollicitée.

Type de capteur :

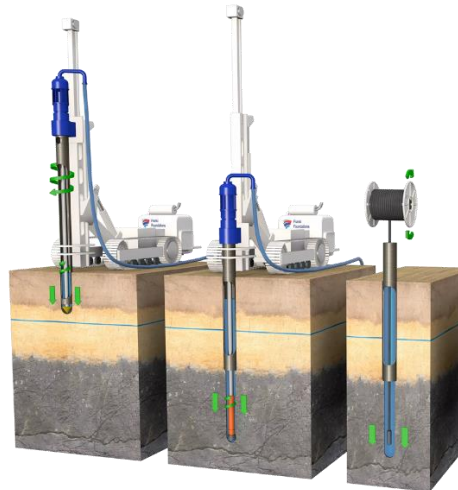


Figure 34 : Principe pour un forage géothermique de faible profondeur (<200m). (Source : Atlas-Fondations)

Emprise concernée et exemple de résultat :

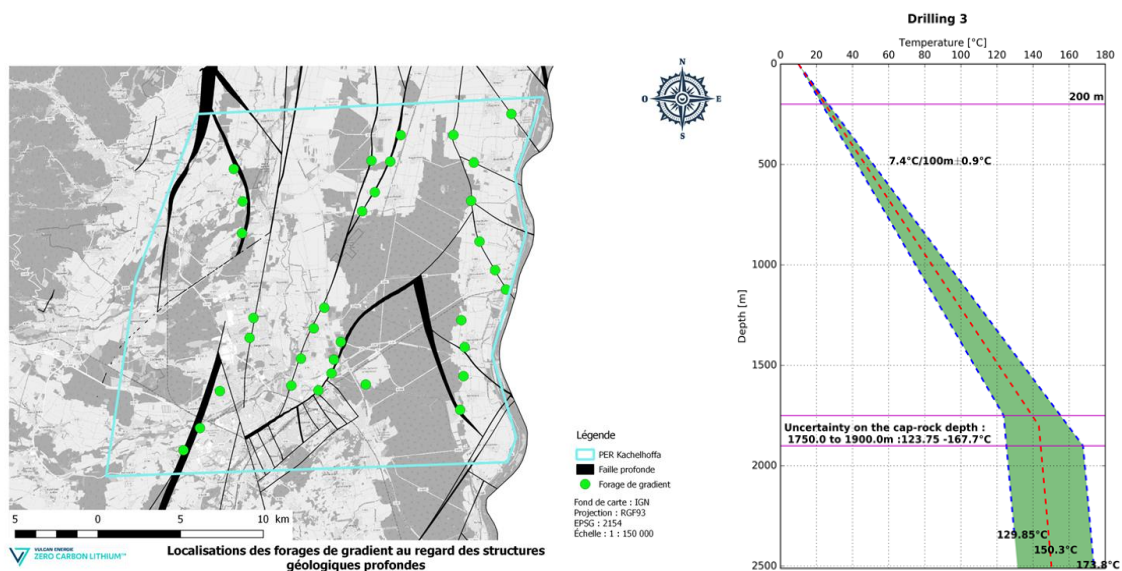


Figure 35 : (à gauche) Emplacement théorique des forages de gradients. (à droite) Exemple de log de température d'un forage de gradient permettant une extrapolation de la température attendue à la cible. (Source : Maurer et al., 2018)

Durée de mise en œuvre : un forage dur en moyenne 3j. Une durée totale de 2 mois est envisagée.

Impact environnemental : quasi nul car la sélection des sites se fera en adéquation avec la protection des enjeux environnementaux présents dans l'emprise.

5) Et enfin, si une cible a été identifiée, un forage exploratoire profond.

Le forage exploratoire profond correspond à la dernière étape du programme d'exploration du sous-sol et à son aboutissement. En effet, après la mise en œuvre de l'ensemble des méthodes d'imagerie, un important travail d'analyse et d'interprétation permettra d'identifier et proposer des cibles et des trajectoires de puits au droit du réservoir géothermique (Figure 37). L'intégralité des études techniques et environnementales seront jointes au dossier de Demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers (DAOTM) dont l'instruction dure une année avant d'autoriser la mise en œuvre du forage d'exploration (Figure 36).

Outil mis en œuvre :



Figure 36 : Présentation des 2 RIG de forages de la filiale VERCANA du Groupe Vulcan.

Emprise concernée et exemple de résultat :

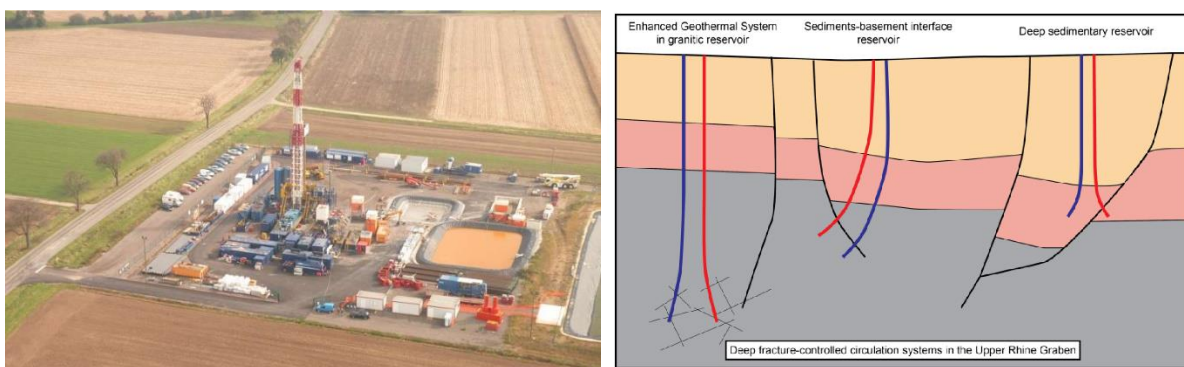


Figure 37 : (à gauche) Vue aérienne du site de forage du projet dit ECOGI (Rittershoffen) d'Électricité de Strasbourg. (Source : (Ravier 2021)). (à droite) les différentes trajectoires de puits ayant permis d'atteindre les cibles géothermales. (Source : (Vidal 2017))

Durée de mise en œuvre : il est attendu que la durée de foration soit de l'ordre de 3 mois par puits.

Impact environnemental : La parcelle sollicitée pour accueillir le forage nécessite au préalable une étude environnementale dédiée afin de s'assurer que le site d'implantation du forage et son voisinage n'aient pas d'impact environnemental pour la faune, la flore ainsi que les biens et les personnes.

5 Méthodologie de construction du projet

Le retour d'expérience du développement des projets de géothermies et d'extraction de lithium a montré, en France comme en Allemagne ou encore en Suisse, la nécessité d'une excellence technique pour aboutir à des projets opérationnels. De même, il semble clairement nécessaire de revoir la gouvernance des projets énergétiques pour les territoires. Fort de son expérience de mise en œuvre de projets géothermique et lithium outre-Rhin, le Groupe Vulcan entend mettre en œuvre une gestion plus inclusive auprès des citoyens, des associations et des élus. Les Établissements publics de Coopération Intercommunale (EPCI) planifient et pilotent le développement économique de leur territoire et possède une parfaite connaissance des enjeux à la fois locaux et régionaux. Les Pôles d'Équilibre Territorial et Rural (PETR) de même que les Plans Climat-Air-Eau Territorial (PCAET) et à fortiori Schémas de Cohérences Territoriales (SCoT) participent d'ores et déjà à cette planification dans laquelle les opérateurs doivent s'inscrire pour valoriser au mieux leurs projets. Ainsi, Vulcan Énergie France entend co-construire le projet de centrale géothermique avec l'apport clef des EPCI. Des mécanismes financiers et de gouvernance engageants seront proposés. De même, la transparence, le dialogue et la pédagogie avec les citoyens seront des marqueurs forts du projet de Vulcan sur le territoire. A l'instar des principes appliqués en Allemagne, Vulcan Energie France ouvrira ses portes dès la phase d'instruction afin de pouvoir recevoir élus, citoyens et associations afin de prendre le temps d'explicitier le projet et entendre les remarques des différents représentant locaux (Figure 38).



Figure 38 : Le groupe Vulcan se montre actif auprès des communautés locales afin de répondre aux questionnements des citoyens autour du projet de valorisation des ressources minérales et calorifiques des saumures géothermales profondes par le biais de réunions publiques, de visites des sites, de congrès et de l'ouverture de bureaux dédiés (Mannheim, Karlsruhe, Insheim) pour accueillir toute personne souhaitant échanger sur le projet.

6 Etude d'incidence environnementale

L'intégralité de l'Étude d'Incidence Environnementale ainsi que le résumé non technique suivant ont été réalisés par une entreprise tierce et indépendante.

