



arverne
GROUP

Membre d'Arverne Group
entreprise à mission

2gré



Mise à jour des informations relatives aux Permis Exclusif de Recherche de Géothermie de Strasbourg de 2gré (Anciennement Georhin)

5.

Programme des travaux et engagements financiers

Rédaction du document

Référence interne	Date	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
5_PER de Strasbourg	18/08/2023	Romain DUHAMEL	Damien BEVILLON	Pierre BROSSOLLET

Diffusion du document

Date	Destinataire	Organisme	Version numérique	Version papier
14/08/2023		DGEC / BRESS	1	0
14/08/2023		DREAL	1	0

2gré - 49 Route d'Agen 47310 Estillac
Adresse de correspondance : 2gré chez Arverne Group, 2 avenue Pierre Angot 64000 Pau
SAS au capital de 3 210 000 € | RCS AGEN 529 770 646 | Siret : 529 770 646 00030 | Code APE 7112B

www.2gre.fr

Table des matières

1	Programme des engagements financiers et des travaux envisagés sur la période de deuxième prolongation.....	6
1.1	Planning prévisionnel des travaux	6
1.2	Budget prévisionnel sur la deuxième période de prolongation 2023-2028	6
2	Synthèse des engagements techniques sur la deuxième période de prolongation du PER de Strasbourg	8
2.1	Zone nord du PER de Strasbourg	8
2.2	Suivi du site de Vendenheim	9
2.3	Zone Sud et Ouest du PER de Strasbourg	9
2.3.1	Acquisition Pseudo 3D sur l'ensemble du PER	9
2.3.2	Mise à jour du modèle de Vendenheim et options de remédiation	17

Table des figures

Figure 1: Implantation des secteurs d'intérêt pour l'implantation de levés de pseudo 3D sur le PER de Strasbourg.	11
Figure 2: Bloc diagramme schématisé du dispositif de sismique réflexion « pseudo 3D ». Dans le cas présent, le convoi se déplace du Point vibré 1 vers le Point vibré 2.	12
Figure 3 : Exemple de camion vibreur type Birdwagen MARK IV, insonorisé.	12
Figure 4: Géophone dernière génération (STRYDE).	13
Figure 5: Emprise de la sismique Pseudo 3D prévue sur la zone Nord de Haguenau.	16

Table des tableaux

Tableau 1: Planning prévisionnel des travaux envisagés.	6
Tableau 2: Budget prévisionnel PER Strasbourg sur la deuxième prolongation 2023-2028	7
Tableau 3: Répartition du budget exploratoire 2 ^e période	8
Tableau 4 : Comparaison des différentes techniques de sismique réflexion.	14

1 Programme des engagements financiers et des travaux envisagés sur la période de deuxième prolongation

1.1 Planning prévisionnel des travaux

Tableau 1: Planning prévisionnel des travaux envisagés.

PER

Dépôt de la demande de renouvellement du PER	Juin 2023
Suivi du dossier de renouvellement du PER	
Obtention de l'arrêté de renouvellement du PER	Debut 2024

DAOTM

Dossier d'autorisation de travaux de forages	dépôt en 2025
--	---------------

ACQUISITION DONNÉES GÉOPHYSIQUE & ÉTUDES

Sismique Haguenau Nord [dans le cadre du PER "Les Sources"]	2023
achat et retraitement de données	2023
Sismique Haguenau Sud et zone Ouest ou Sud du PER	2024/2025
traitement et interprétation géophysiques	2024-2026
campagne CSEM sur la zone Haguenau	2024
équipement microsismique sur la zone de Haguenau	2025

FORAGE

campagne de puits de gradient sur la zone de Haguenau	2025
achat parcelle de forage sur la zone de Haguenau et zone Ouest ou Sud du PER	2025/2026
puits exploratoire, puit developpement et tests de performance (cible à ~3000m TVD) dans la zone Haguenau (nord du PER)	2026-2027
puits exploratoire, puit developpement et tests de performance (profondeur selon emplacement) dans la zone Ouest ou Sud du PER	2027-2028
Travaux de suivi du site de Vendenheim	2023-2027

Décision de demande d'exploitation ou travaux complémentaires

- Si travaux exploratoires complémentaires :	2026
- Si demande d'exploitation, dépôt dossier	2027
Travaux de développement	2027

1.2 Budget prévisionnel sur la deuxième période de prolongation 2023-2028

Le programme de remédiation du doublet de Vendenheim sera établi après interprétation de la campagne de géophysique 3D et recalage du modèle de réservoir.

Tableau 2: Budget prévisionnel PER Strasbourg sur la deuxième prolongation 2023-2028

Budget

	€
ACQUISITION DONNÉES GÉOPHYSIQUE	2 900 000
Sismique Haguenau Nord (2023) [dans le cadre du PER "Les Sources"]	-
Sismique Haguenau Sud (2024) et zone Ouest ou Sud du PER	2 400 000
campagne CSEM sur la zone Haguenau	300 000
monitoring microsismique	200 000
FORAGE	19 700 000
campagne de puits de gradient sur la zone de Haguenau	200 000
achat parcelle de forage sur la zone de Haguenau	1 000 000
puits exploratoire (toit du socle ~2500m NGF, cible 3000 m VD) dans la zone Haguenau (nord du PER)	8 000 000
Sur le site de Vendenheim, monitoring et étude pour déterminer soit remediation, soit P&A	2 500 000
puits exploratoire zone Ouest ou Sud du PER (profondeur selon emplacement final)	8 000 000
TEST DE PUIITS - LONGUE DURÉE	900 000
tests de productivité et de communication entre les puits du doublet	900 000
ÉTUDES	650 000
achat et retraitement de données géophysiques sur le PER	150 000
traitement et interprétation géophysiques	500 000
BUDGET TOTAL 2^e PERIODE DE PROLONGATION :	24 150 000

Tableau 3: Répartition du budget exploratoire 2^e période

€	Année 11	Année 12	Année 13	Année 14	Année 15	TOTAL programme
	2023	2024	2025	2026	2027/28	
Sismique Haguenau Nord [dans le cadre du PER "Les Sources"]						-
achat et retraitement de données	150 000					150 000
Sismique Haguenau Sud et zone Ouest ou Sud du PER		1 200 000	1 200 000			2 400 000
campagne CSEM sur la zone Haguenau		300 000				300 000
traitement et interprétation géophysiques		100 000	300 000	100 000		500 000
campagne de puits de gradient sur la zone de Haguenau			200 000			200 000
achat parcelle de forage sur la zone de Haguenau et zone Ouest ou Sud du PER			500 000	500 000		1 000 000
équipement microsismique sur la zone de Haguenau et zone Ouest ou Sud du PER			100 000	100 000		200 000
puits exploratoire et tests de performance dans la zone Haguenau (nord du PER) et zone Ouest ou Sud du PER				8 400 000	8 500 000	16 900 000
suivi site de Vendenheim	100 000	1 000 000	300 000	1 000 000	100 000	2 500 000
TOTAL/année	250 000	2 600 000	2 600 000	10 100 000	8 600 000	24 150 000

2 Synthèse des engagements techniques sur la deuxième période de prolongation du PER de Strasbourg

2.1 Zone nord du PER de Strasbourg

Le secteur se situe sur le flanc nord du Bassin de Strasbourg, au sud du seuil de Haguenau. Les profondeurs attendues au toit du socle sont autour de -2500 m (NGF), soit des cibles géologiques situées autour de 3000m sous le niveau du sol (VD).

Le programme minimum inclut :

- L'achat et le retraitement de lignes 2D et de données de puits existantes.
- Une campagne d'acquisition sismique 3D détaillée sur un secteur identifié avec un fort potentiel dans le secteur Nord du PER
- Une campagne d'acquisition de données CSEM avec un design compatible avec les profondeurs visées
- Le forage de quelques puits de gradient dans la zone pour avoir des données fiables sur le champ de température attendu dans le secteur
- Traitement des données et interprétation pour l'identification d'un ou plusieurs gîtes profonds de géothermie
- L'identification et la négociation d'une parcelle de terrain adaptée pour le forage de puits profonds et l'installation future d'un site d'exploitation
- Dépôt d'une demande d'autorisation environnementale pour le forage d'un doublet exploratoire
- Installation des équipements de suivi microsismique et mise en place du protocole de surveillance en temps réel
- Forage et tests d'injectivité du puits d'exploration du gîte géothermique, en cas de résultats satisfaisants, forage du deuxième puits et tests de communication entre les deux puits.

2.2 Suivi du site de Vendenheim

Les installations construites sur le site de Vendenheim sont à l'arrêt mais nécessitent toujours une surveillance régulière. Le programme de travaux inclut donc pour toute cette phase du PER :

- Suivi microsismique
- Suivi de l'état des puits et des installations du site

De plus, pour tirer l'ensemble des leçons des événements passés, le groupe Arverne a proposé la mise en place d'un comité compétent pour analyser les données du site et les contenus et résultats des futures études complémentaires afin de déterminer l'avenir du site. Selon les recommandations de ce comité, et in-fine, des autorités compétentes, des travaux de remédiation ou au contraire l'abandon définitif des deux puits VDH-GT1&2 pourra être décidé au cours de cette phase du PER.

Le programme inclut ainsi le budget nécessaire aux études permettant de décider sur une solution de remédiation ou d'abandon (P&A) des deux puits.

2.3 Zone Sud et Ouest du PER de Strasbourg

Comme identifié par les travaux menés au cours des phases précédentes, il existe plusieurs secteurs dans ou à proximité de l'EMS avec un fort potentiel géothermique.

Si les parties prenantes sont toutes alignées pour soutenir des travaux d'exploration de gîtes de géothermie, le programme portera sur :

- Campagne d'acquisition sismique 3D détaillée sur un secteur identifié avec un fort potentiel géothermal
- Traitement des données et interprétation
- Le cas échéant, dépôt d'une demande d'autorisation environnementale pour le forage d'un puits exploratoire
- Forage et test du puits d'exploration, en cas de résultats satisfaisants, forage du deuxième puits et tests de communication entre les deux puits.

La profondeur des cibles dépendra de la zone qui sera retenue.

2.3.1 Acquisition Pseudo 3D sur l'ensemble du PER

L'élaboration de ce levé de mesures géophysique intervient dans le cadre des études complémentaires sur le PER Géothermique dit de « Strasbourg » et permettra d'approfondir l'état des connaissances du réservoir et de l'aléa sismique. Sa mise en œuvre relève d'une méthode novatrice de sismique réflexion dite « pseudo 3D », développée depuis 2020 par les entreprises en charge du levé.

Sur le terrain, la conception ingénieuse de ce nouveau type de levé se traduit par un nombre de sources et de récepteurs optimisé sur une surface réduite. En effet, le tracé des lignes camion couplé à des géophones dernière génération ne nécessite pas la réalisation d'un quadrillage strictement orthogonal : la longueur, la densité et l'orientation de leur distribution sont ajustables. Cette géométrie spécifique est rendue possible grâce au développement et à l'adaptation de nouvelles techniques de traitement du signal, permettant de produire des cubes sismiques 3D semblables à ceux issus de la méthode 3D classique.

2.3.1.1 Descriptif général des levés

A ce stade, 2 levés de sismique pseudo 3D ont déjà fait l'objet d'une déclaration auprès de la DREAL Grand-Est :

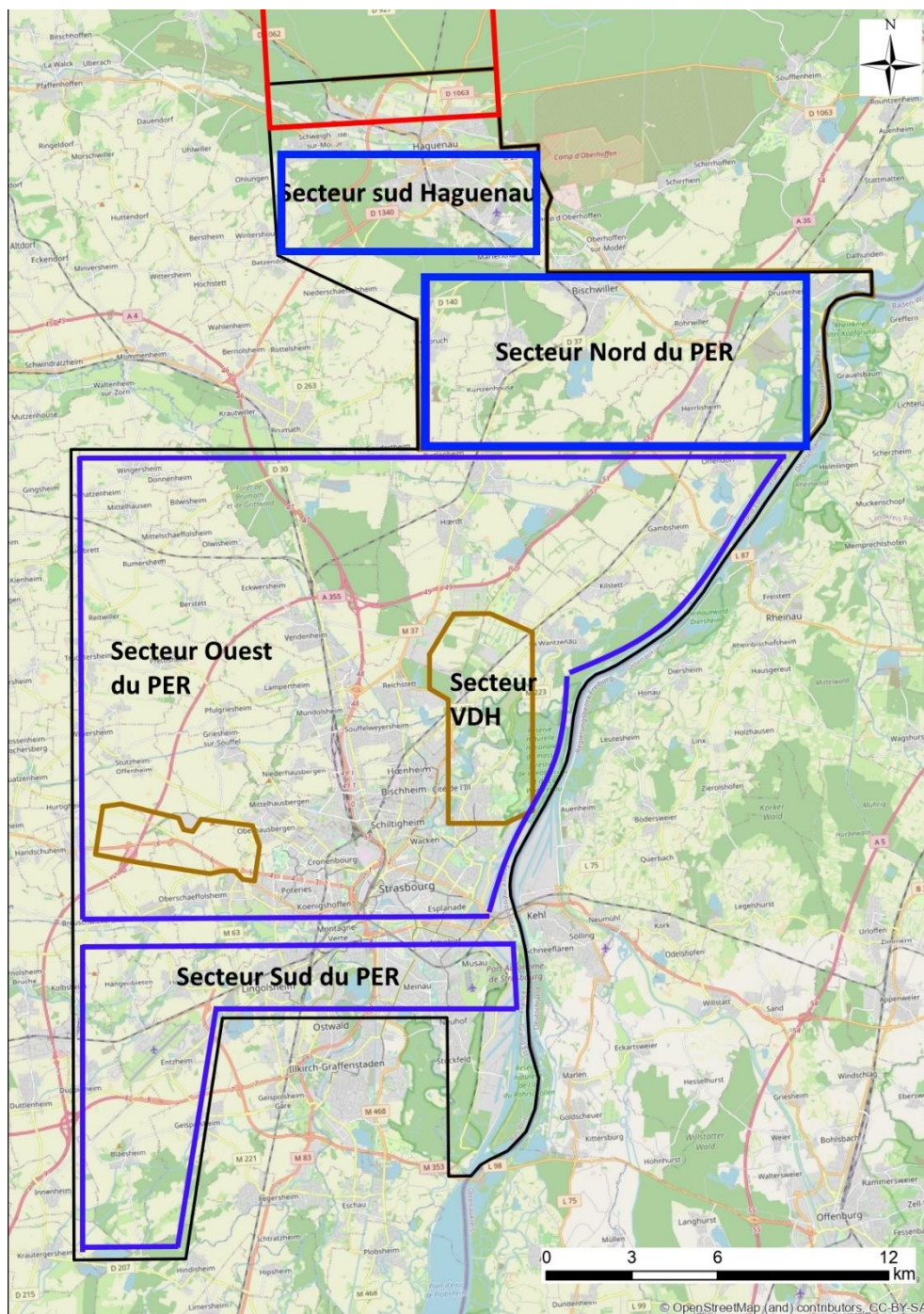
- Le levé du secteur Vendenheim/Robertsau (secteur centre du PER) concerne 8 communes et comporte de nombreux champs agricoles (appartenant à l'EMS). La zone d'intérêt présente une surface de 22 km² et le tracé préliminaire des camions comptabilise 74 km linéaires. Les zones urbanisées seront évitées.
- Le levé de la zone Ouest EMS (secteur ouest du PER) concerne 8 communes et comporte quasi exclusivement des champs agricoles (appartenant à des exploitants). La zone d'intérêt présente une surface de 10 km² et le tracé préliminaire des camions comptabilise 51 km linéaires. Les zones urbanisées seront évitées.

D'autres levés sont en cours de préparation et concerne les secteurs Nord du PER (zone Haguenau sud et Bischwiller/Herrlisheim), les secteurs Ouest et Sud du PER.

Ces levés complémentaires permettront d'identifier les cibles envisagées par 2gré dans le cadre du développement de doublets géothermique à l'échelle du PER de Strasbourg sur les différents secteurs identifiés (Figure 1). Les levés seront réalisés à l'intérieur du périmètre du PER de Strasbourg.

Le tracé des lignes camion sera amené à être ajusté selon les données de terrain, le résultat du permissage et les conseils des prestataires, ce qui modifiera le kilométrage linéaire total.

Conformément à l'article L121-1, le levé sera réalisé avec le consentement du propriétaire de la surface, en l'occurrence les arrêtés de voirie pour les chemins et routes communales, départementales et nationales ou avec l'autorisation de passage du propriétaire public ou privé. Les autorisations définitives de passage des propriétaires ou gestionnaires des routes seront négociées au cas par cas lorsque le tracé définitif aura été retenu. La DREAL sera informée et une mise à jour des modifications sur le tracé définitif ainsi que les autorisations d'accès aux voiries lui seront fournis avant les passages.



- Sismique 3D envisagée par Lithium de France zone Nord Haguenau**
- Zones ayant fait l'objet d'une déclaration de levés en 2022**
- Secteurs d'intérêt pour des levés de sismique 3D par 2^{gré}**
- PER de Strasbourg**

Figure 1: Implantation des secteurs d'intérêt pour l'implantation de levés de pseudo 3D sur le PER de Strasbourg.

2.3.1.2 Equipements utilisés

Le dispositif d'acquisition sur le terrain (Figure 2) est composé :

- D'une source : convoi de camions vibrateurs
- De récepteurs : géophones autonomes, plantés dans le sol

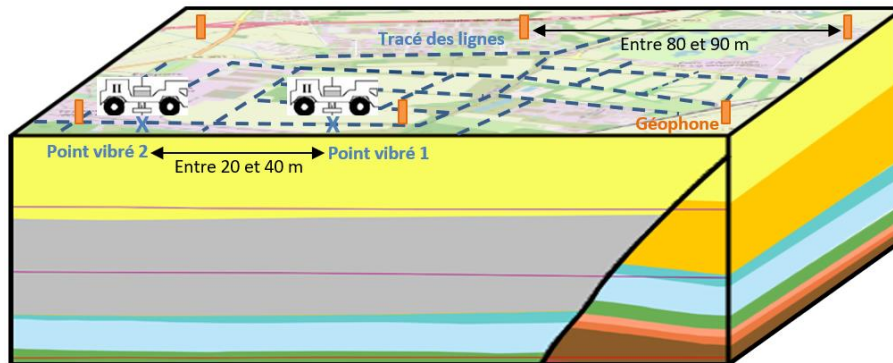


Figure 2: Bloc diagramme schématisant le dispositif de sismique réflexion « pseudo 3D ». Dans le cas présent, le convoi se déplace du Point vibré 1 vers le Point vibré 2.

Les vibrations sont effectuées par un convoi de plusieurs camions vibrateurs. Ces derniers sont munis de plaques hydrauliques vibratoires carrées, d'environ 1 m de côté, qui vont vibrer simultanément dans une certaine gamme de fréquence et pendant un temps défini (quelques secondes maximum), afin de propager des ondes acoustiques dans le sous-sol.

Le convoi est composé de 4 camions maximum, espacés de quelques mètres. Ils suivent le tracé des lignes prédéfini et s'arrêtent à chaque point d'émission des vibrations (point vibré ou PV), soit tous les 20 à 40 mètres. Une autorisation en amont du levé devra être obtenue pour le passage des camions sur les routes, chemins et champs agricoles concernés par le tracé, lequel sera modifié le cas échéant.

La Figure 3 présente le type de camion vibrateur utilisé dans le cadre de ce levé. Ils sont insonorisés et possèdent une force approximative de 42 000 livres.



Figure 3 : Exemple de camion vibrateur type Birdwagen MARK IV, insonorisé.

Concernant les récepteurs, les ondes acoustiques réfléchies sur les différentes couches du sous-sol sont enregistrées à l'aide de petits capteurs plantés dans le sol, appelés géophones (Figure 4). GTG propose de déployer environ 3000 récepteurs STRYDE (géophones de dernière génération). Ils ont déjà été utilisés en 2020 et 2021 au cours de plusieurs opérations en France, en Suisse et en Belgique et sont aussi fiables que les générations précédentes (bretelles de géophones reliées par câbles et wifi).

Les récepteurs STRYDE sont légers, peu encombrants et leur faible empreinte les rend très discrets, ce qui facilite leur déploiement sur le terrain. L'intervalle étant de 20 à 40 m, la pose des géophones se fait à pied et ne présente ainsi aucune nuisance ou risque de dégradation pour l'environnement.

Ce type de géophone est autonome et enregistre directement le signal (pas de communication entre eux ni avec un camion laboratoire). L'autonomie de la batterie et la capacité de mémoire de stockage permettent de réaliser quatre semaines d'enregistrement continu, ce qui donne suffisamment de temps pour déployer, acquérir et récolter les données sur des levés à surface réduite. L'ensemble des géophones est donc déployé en amont et maintenu actif pendant toute la durée de l'acquisition. De cette façon, chaque position vibrée peut être enregistrée par tous les récepteurs couvrant l'ensemble de la surface du levé.



Figure 4: Géophone dernière génération (STRYDE).

2.3.1.3 Résumé des avantages de la technique « pseudo 3D »

L'analyse qui suit se base en partie sur l'article « Frugal Seismic for Geothermal Industry » de Puech et al., 2022 (RTS, HITA nv et GTG) et sur l'offre technico-financière fournie par GTG.

Géométrie du levé

Un levé « pseudo 3D » est mené avec une quantité allégée en équipement : de 1500 à 3000 récepteurs et de 1000 à 3000 positions vibrées. La distribution des sources et des récepteurs est plutôt espacée et totalement ajustable. Contrairement à un levé 3D conventionnel basé sur une grille strictement orthogonale et dense, ou à un levé 2D dont les profils doivent être suffisamment longs, rectilignes et qui nécessite un faible écart entre la source et les récepteurs.

Logistique

Outre les considérations d'efficacité financière, il est intéressant de réaliser ce type de levé pour des raisons pratiques et pour une meilleure acceptation du projet. Les projets géothermiques sont quasi systématiquement situés à proximité où dans des zones urbaines (pour être plus proches des utilisateurs). De tels environnements comportent des avantages logistiques mais aussi quelques défis, qui sont atténués par le design du levé « pseudo 3D » :

Défis 2D ou 3D classique :	Avantages « pseudo 3D » :
• phase de permittage complexe • fenêtre de temps limitée pour l'acquisition • niveau de bruit élevé • contrôle des vibrations • exposition aux réticences de la population • compensations pouvant être coûteuses	• surface de levé réduite • grille plus espacée donc acquisition rapide • contournement des zones urbanisées • récepteurs légers, compacts et peu encombrants

Réception, enregistrement et analyse du signal

Les récepteurs sont autonomes, léger et compacts (aucun câbles nécessaires). Ils sont donc faciles à déployer sur l'ensemble de la zone du levé selon l'intervalle défini au préalable. L'ensemble des géophones est déployé en amont et maintenu actif pendant toute la durée de l'acquisition. La réception et l'enregistrement des ondes sont directement opérés par le géophone lui-même (un camion laboratoire n'est donc plus nécessaire).

Traitement des données et résultat

Le traitement utilise un workflow 3D classique qui intègre des algorithmes de régularisation. Par la suite, les données sont interpolées dans le domaine 5D (x, y, z, temps et amplitudes). Ce traitement spécifique et adapté permet d'obtenir un cube sismique 3D.

Conclusion

En définitive, la conception ingénieuse du levé, intégrant l'utilisation de géophones dernière génération et de techniques de traitement adaptées, peut produire des cubes sismiques 3D adéquats dans un cadre diligent et à coût amoindri. Le Tableau 4 compare les différentes techniques.

Tableau 4 : Comparaison des différentes techniques de sismique réflexion.

Caractéristiques	Pseudo-3D	3D	2D
Géométrie du levé	- Grille espacée - Surface réduite - Tracé ajustable	- Grille dense - Surface importante - Tracé orthogonal	- Faible résolution - longs profils, rectilignes - faible écart source/récepteur
Logistique : - pré-levé (permittage) - levé (fenêtre de temps, bruit, contrôle des vibrations, acceptabilité) - post-levé (compensation)	Facile à gérer	Complexe à gérer	Complexe à facile (dépend du nombre et de la longueur de ligne)
Réception du signal	- Géophones autonomes - Légers et compacts	1 bretelle composée de 6 géophones reliés entre eux par des câbles	1 bretelle composée de 6 géophones reliés entre eux par des câbles
Type de géophone	Accéléromètre piézoélectrique	Vélocimètre classique	Vélocimètre classique

Enregistrement du signal	Mémoire interne du géophone	L'information est transmise par Wifi au camion laboratoire	L'information est transmise par Wifi au camion laboratoire
Analyse du signal	Pas de vérification en temps réel *	Vérification en temps réel	Vérification en temps réel
Traitement des données	Workflow 3D classique + algorithmes de régularisation 5D	Workflow 3D classique	Workflow 2D classique
Résultat	Cube sismique 3D	Cube sismique 3D	Profils sismiques 2D
Investissement	Avantageux	Coûteux	Avantageux

*Compensé par la redondance en capteurs, tous les capteurs déployés sur la zone de levé sont actifs.

2.3.1.4 Zone Nord du PER de Strasbourg

Compte tenu de la forte demande de chaleur de cette partie Nord du PER de Strasbourg, nous avons décidé d'autoriser la société sœur Lithium de France au courant de l'automne 2023 à une campagne d'imagerie 3D du sous-sol par technique vibro-sismique ciblée dans le secteur Ouest autour de Haguenau. Une vingtaine de km² de la superficie du PER de Strasbourg sera concernée par cette opération (figure 142). Ces travaux permettront en 2024 d'avoir une bonne idée du potentiel de chaleur géothermique de ce territoire. Ainsi, un avant-projet d'alimentation des clients cités ci-dessus pourra être réalisée au second semestre de l'année 2024.

La zone Nord bénéficiera de ce calage pour dimensionner une autre acquisition sur une zone à définir à l'intérieur du périmètre indiqué Secteur Nord dans la Figure 5.

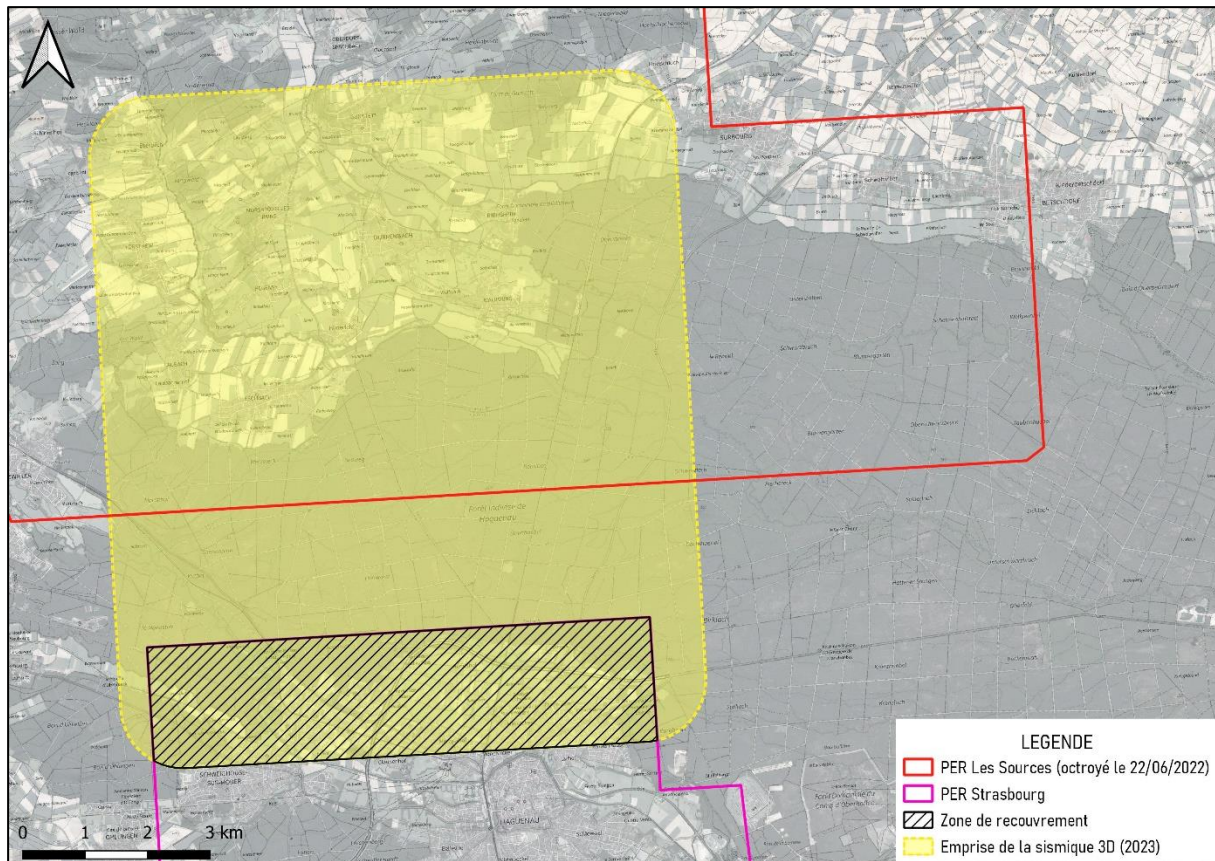


Figure 5: Emprise de la sismique Pseudo 3D prévue sur la zone Nord de Haguenau.

2.3.1.5 Zone Ouest et Sud

Etape 1 : levé de calibrage de la méthode « pseudo-3D », sur le site du doublet de Vendenheim

Cette méthode devrait permettre la visualisation du réseau de failles secondaires en profondeur, dans le socle et dans l'ombre du pendage des failles majeures. Néanmoins, cette technologie et ses algorithmes étant récents, il convient de s'assurer de son efficacité sur une zone ayant une connaissance préalable déjà importante.

Le modèle le plus avancé est celui du réservoir de Vendenheim. Le premier calage complexe du réservoir a été rendu possible notamment grâce à la quantité importante de données en sismologie (tels que les mécanismes au foyer), en plus de la sismique active 2D, de l'acquisition d'un VSP et des données de forage.

Le réseau de faille secondaire, à l'origine de la sismicité ressentie, est modélisé actuellement sur cette base. L'acquisition « pseudo-3D » devrait donc permettre de visualiser directement ces réseaux secondaires et ainsi :

- confirmer son apport de qualité supplémentaire vis-à-vis des acquisitions 2D classiques et VSP ;
- affiner les informations géosciences sur ces réseaux secondaires et améliorer la modélisation du réservoir de Vendenheim afin de finaliser l'analyse scientifique engagée en Décembre 2019. A cette occasion, la zone sud (Robertsau) sera levée afin d'apporter des informations supplémentaires à la question toujours en suspens de l'éventuelle liaison entre les essais sismiques du doublet de Vendenheim et l'essai dit de « Strasbourg Nord ».

Etape 2 : Application aux zones Ouest et Sud du PER de Strasbourg

Cette étape concerne l'application sur les deux autres projets, du levé précédemment calibré, avec pour objectif d'approfondir les études liées aux AP du 15 Avril 2021, précisés par le jugement du tribunal administratif de Strasbourg du 23 Juin 2022.

L'interprétation des données acquises à l'étape 2 se fera en intégrant le REX du calage réalisé à l'étape 1. L'objectif sera de renforcer la qualité des données et de rendre la plus probable possible la mise à jour de la modélisation de la zone Ouest de l'EMS et l'étude affinée de l'aléa de sismicité induite.

2.3.2 Mise à jour du modèle de Vendenheim et options de remédiation

Les résultats des levés de sismique pseudo 3D, une fois interprétés, seront inclus dans le modèle structural. L'objectif est de lever les incertitudes concernant la structuration des failles du socle hercynien et plus particulièrement au niveau de la zone de relais venant séparer les réservoirs de VDH-GT1 et VDH-GT2.

Sur la base des résultats et dans le cadre d'un collège élargi, une option de remédiation sera proposée afin de connecter le puits injecteur au réservoir du puits producteur.