



arverne
GROUP

Membre d'Arverne Group
entreprise à mission

2gré



*Mise à jour des informations relatives à la demande de Permis
Exclusif de Recherches de Lithium et substances connexes de
La Plaine du Rhin de 2gré
(Anciennement Georhin)
Version allégée*

5.

Programme des travaux et engagements
financiers

Rédaction du document

Référence interne	Date	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
5_PER de La Plaine du Rhin	19/10/2023	Romain DUHAMEL	Damien BEVILLON	Pierre BROSSOLLET

Diffusion du document

Date	Destinataire	Organisme	Version numérique	Version papier
25/09/2023		DGALN / BRESS	1	0
25/09/2023		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.....	7
1.1	Planning prévisionnel des travaux.....	7
1.2	Budget prévisionnel.....	8
2	Synthèse des engagements techniques sur le PER dit de « La Plaine du Rhin »	10
2.1	Acquisition Pseudo 3D sur l'ensemble du PER	10
2.1.1	Descriptif général des levés	11
2.1.2	Equipements utilisés	12
2.1.3	Résumé des avantages de la technique « pseudo 3D »	14

Table des figures

Figure 1: Implantation des secteurs d'intérêt pour l'implantation de levés de pseudo 3D sur le PER de la Plaine du Rhin.....	12
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.	13
Figure 3 : Exemple de camion vibreur type Birdwagen MARK IV, insonorisé.	13
Figure 4: Géophone dernière génération (STRYDE).	14
Figure 5: Emprise de la sismique Pseudo 3D prévue sur la zone Nord de Haguenau.	16

Table des tableaux

Tableau 1: Planning des travaux envisagés sur le PER.	7
Tableau 2: Budget prévisionnel PER Plaine du Rhin sur la deuxième prolongation 2023-2028.....	8
Tableau 3: Investissements spécifiques au PER de la Plaine du Rhin	8
Tableau 4: Répartition du budget exploratoire.....	9
Tableau 5 : Comparaison des différentes techniques de sismique réflexion.....	15

1 Programme des engagements financiers et des travaux envisagés

1.1 Planning prévisionnel des travaux

Tableau 1: Planning des travaux envisagés sur le PER.

PER

Dépôt de la demande initiale du PER	2018
Reprise d'instruction	sept-23
Obtention de l'arrêté du PER	mars-24

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 traitement 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

Conception ingénierie amont du projet	2023 - 2026
Analyse marché et faisabilité d'extraction commerciale	2024- 2025
2° puits exploratoire, puit développement et tests de performance (cible à ~3000m TVD) dans la zone Haguenau (nord du PER)	2027
2° puits exploratoire, puit développement et tests de performance (profondeur selon emplacement) dans la zone Ouest ou Sud du PER	2028
Caractérisation géochimique Li et minéraux connexes	2027 à 2028

Décision de demande d'exploitation ou travaux complémentaires

- Si travaux exploratoires complémentaires :	2027
- Si demande d'exploitation, dépôt dossier	2027-2028
Travaux de développement	2027-2028

1.2 Budget prévisionnel

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

	€
ACQUISITION DONNÉES GÉOPHYSIQUE, réalisée dans le cadre du PER G "Strasbourg"	-
Sismique Haguenau Nord (2023) [dans le cadre du PER "Les Sources"]	PER G
Sismique Haguenau Sud (2024) et zone Ouest ou Sud du PER	PER G
Campagne CSEM sur la zone Haguenau	PER G
Monitoring microsismique	PER G
Campagne de puits de gradient sur la zone de Haguenau	PER G
Achat parcelle de forage sur la zone de Haguenau	PER G

Le Tableau 2 ci-dessus rappelle que l'acquisition de données géophysiques, son traitement et son interprétation structurale seront mis à disposition du PER Plaine du Rhin en tant qu'études réalisées dans le cadre du PER G de Strasbourg.

Les investissements spécifiques au PER Plaine du Rhin sont résumés dans le Tableau 3 ci-après.

Tableau 3: Investissements spécifiques au PER de la Plaine du Rhin

FORAGE	16 500 000
2° puits du doublet exploratoire (toit du socle ~2500m NGF, cible 3000 m VD) dans la zone Haguenau (nord du PER)	6500000
2° puits doublet exploratoire zone Ouest ou Sud du PER (dont Hurtigheim, Eckbolsheim, profondeur selon emplacement final)	9350000
Conception ingenierie amont du projet	650000
TEST DE PUIITS - LONGUE DURÉE	900 000
Tests de productivité et de communication entre les puits du doublet zone Nord	450 000
Tests de productivité et de communication entre les puits du doublet zone Sud - Ouest	450 000
ÉTUDES	900 000
Test et Caractérisation de la teneur en Lithium et Minerais Connexes	300 000
Analyse marché et faisabilité d'extraction commerciale	600 000
BUDGET TOTAL PERIODE INITIALE :	18 300 000

Tableau 4: Répartition du budget exploratoire

€	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	TOTAL programme
	2024	2025	2026	2027	2028	
Sismique Haguenau Nord [dans le cadre du PER "Les Sources"]						Fournit par PER G
Achat et retraitement de données, PER G	-					Fournit par PER G
Sismique Haguenau Sud et zone Ouest ou Sud du PER, PER G		-	-			Fournit par PER G
Campagne CSEM sur la zone Haguenau, PER G		-				Fournit par PER G
Traitement et interprétation géophysique, PER G		-	-	-		Fournit par PER G
Campagne de puits de gradient sur la zone de Haguenau, PER G			-			Fournit par PER G
Analyse marché et faisabilité d'extraction commerciale	200 000	400 000	-	-		600 000
Conception ingénierie amont du projet	200 000	200 000	250 000	-		650 000
2° puits doublet exploratoire dans la zone Haguenau (nord du PER) et zone Ouest ou Sud du PER				6 500 000	9 350 000	15 850 000
Caractérisation géochimique Li et minéraux connexes				150 000	150 000	300 000
Test de performances				450 000	450 000	900 000
TOTAL/année	400 000	600 000	250 000	7 100 000	9 950 000	18 300 000

Nota : Un pilote d'extraction commerciale sera installé selon les résultats des phases de tests. Il n'est pas comptabilisé dans l'engagement financier car sa conception reste à définir dans la phase exploratoire.

A titre informatif, le budget prévisionnel est de :

Budget Global : 5,3 M€

- **3 M€ pour pilote échelle 1/10°**
- **1 M€ brique Raffinage**
- **0,5 M€ études**
- **0,3 M€ tests pendant 1 an**
- **0,5 M€ interface centrale géothermique**

2 Synthèse des engagements techniques sur le PER dit de « La Plaine du Rhin »

La logique de construction du programme exploratoire repose sur le fait que le puits concernant le PER de La Plaine du Rhin est le 2^o puits de chaque doublet relevant du PER G, le programme exploratoire est donc la symétrie du programme de la 2^o prolongation du PER de Strasbourg en cours d'instruction.

En particulier, il bénéficie de la découverte faite par les deux puits de Vendenheim, réalisés dans le cadre du PER G et dont le 2^o est dans le programme de travaux de la demande initiale. Cette découverte a confirmé l'existence d'une ressource en Lithium entre 150 et 210 ppm et a précisé l'équilibre géochimique de la saumure sur ce secteur centre du futur PER Plaine du Rhin.

Le PER de La Plaine du Rhin bénéficiera aussi des développements technologiques issus des programmes développés par la société sœur Lithium de France depuis 2020, qui viendront renforcer les travaux de R&D engagés par 2^{gré} depuis 2018, initialement basés sur les technologies Adionics et Geolith.

Le programme exploratoire actualisé de la demande du PER Li et Connexes de La Plaine du Rhin est précisé ci-après :

- Le programme bénéficie des travaux géophysiques exploratoires du PER G de « Strasbourg » ;
- Réalisation du 2nd puits du doublet géothermique de Zone Nord du PER, puits exploratoire pour le Lithium et minerais connexes sur ce secteur ;
- Ajustement de la méthode d'extraction adaptée à la teneur du gisement et à la réglementation française, en s'appuyant sur les projets de recherche lancés par la filière géothermie haute température française sur ce sujet de valorisation du Lithium et minerais connexes (Procédés interne Lithium de France, ThermoLi...). ;
- Mise en production d'une unité d'extraction pilote sur le site avec retraitement et contrôle des produits dérivés potentiels. Le développement du pilote en cours est à un stade avancé, ayant bénéficié des travaux préliminaires de la société sœur experte Lithium de France, en particulier basés sur les saumures extraites lors des tests d'interférences de Vendenheim, réalisés dans le cadre du PER G ;
- Réalisation du 2nd puits du doublet géothermique de Zone Sud et Ouest du PER, puits exploratoire pour le Lithium et minerais connexes sur ce secteur, incluant mais non limité aux projets Hurtigheim et Eckbolsheim ;
- La profondeur des cibles dépendra de la zone qui sera retenue.

L'objectif d'extraction est basé sur un débit de 125 l/s et une concentration estimative de 162 000 ppm soit 20 g/s sous la forme carbonaté Li⁺. L'objectif suivi pour le moment est une extraction sous la forme de carbonate de lithium qualité batterie ou hydroxyde de Lithium qui générerait un tonnage commercial jusqu'à 1500 t/an à terme.

2.1 Acquisition Pseudo 3D sur l'ensemble du PER

L'élaboration de ce type de levé de mesures géophysique intervient dans le cadre des études complémentaires prévues 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.

2.1.1 Descriptif général des levés

Les levés sont en cours de préparation et concernent les secteurs Nord du PER (zone Haguenau sud et Bischwiller/Herrlisheim) ainsi que les secteurs Centre - Ouest et Sud du PER.

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

Le tracé des lignes de circulation des camions sera amené à être ajusté selon les données de terrain avant le déploiement des géophones, le résultat du permittage et les conseils des prestataires, ce qui amènera une mise à jour du 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.

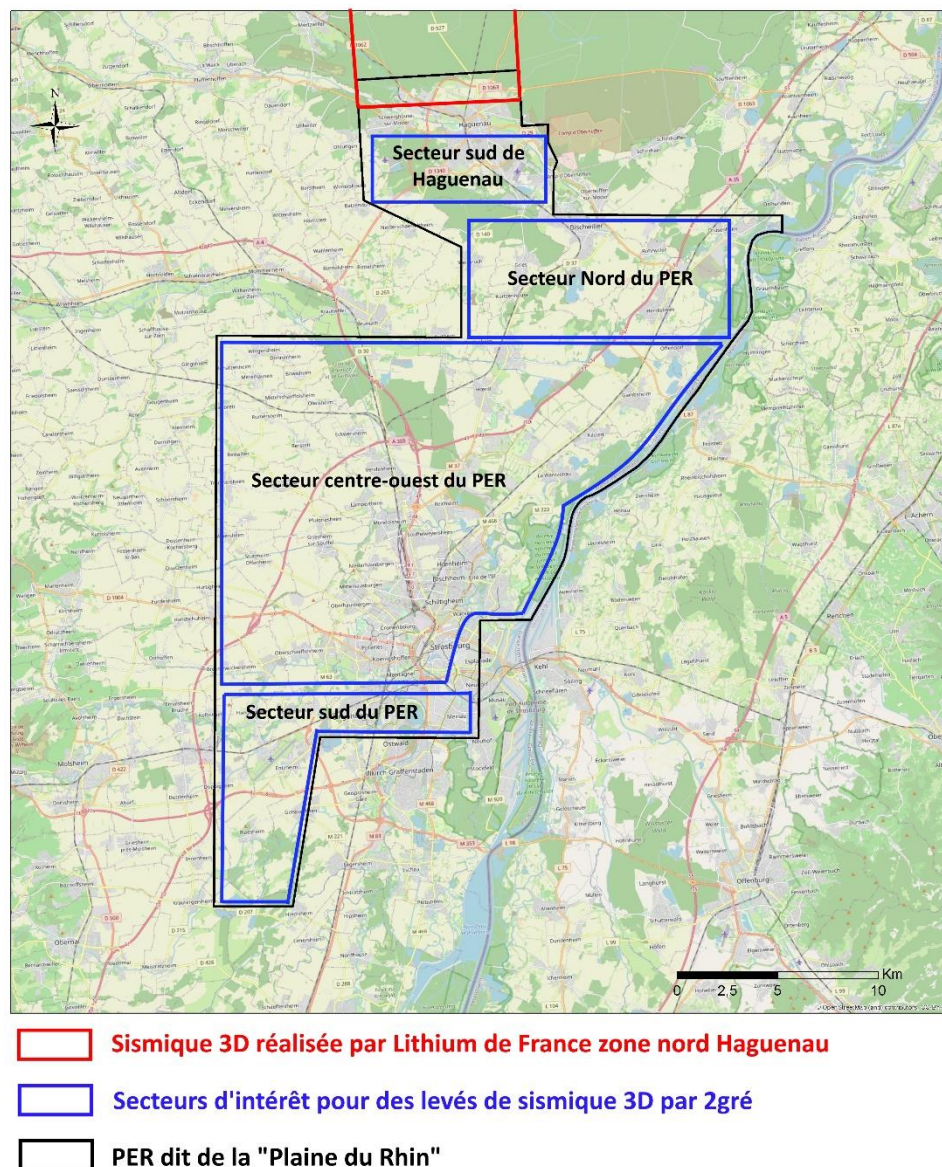


Figure 1: Implantation des secteurs d'intérêt pour l'implantation de levés de pseudo 3D sur le PER de la Plaine du Rhin.

2.1.2 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.

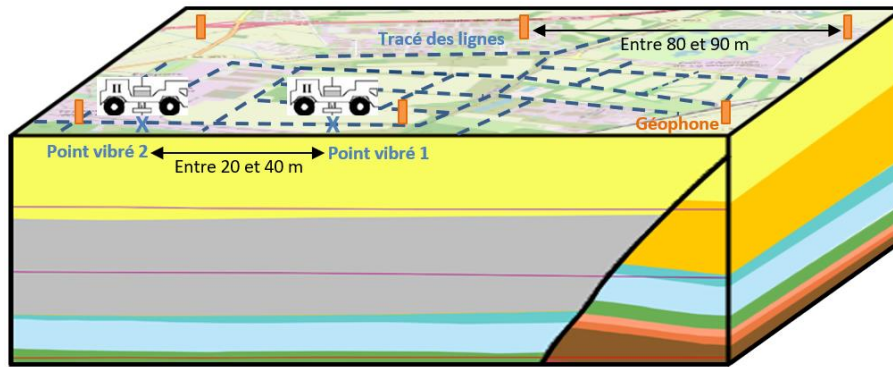


Figure 2: Bloc diagramme schématisant le dispositif de sismique réflexion « pseudo 3D ». Dans le cas présent, le convoi se déplace du Point vibré 1 vers le Point vibré 2.

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 prédéfinies 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 vibreur utilisé dans le cadre de ce levé. Ils sont insonorisés et possèdent une force approximative de 42 000 livres.



Figure 3 : Exemple de camion vibreur 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 (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).

2.1.3 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.

2.1.3.1 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.

2.1.3.2 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

2.1.3.3 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).

2.1.3.4 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.

2.1.3.5 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 5 compare les différentes techniques.

Tableau 5 : Comparaison des différentes techniques de sismique réflexion.

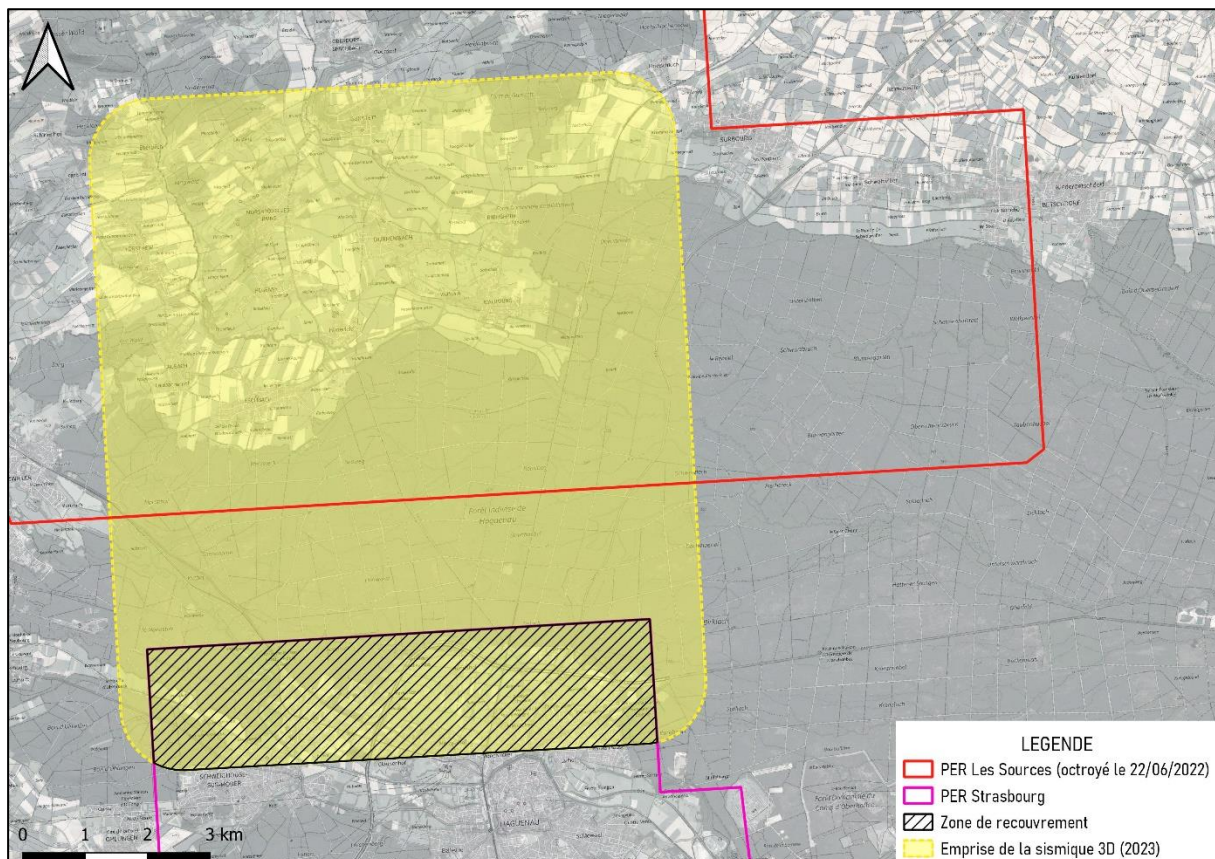
Caractéristiques	Pseudo-3D	3D	2D
Géométrie du levé	- Grille espacée - Surface réduite - Tracé ajustable	- Grille dense - Surface importante - Tracé orthogonal	- Faible résolution - longs profils, rectilignes - faible écart source/récepteur
Logistique : - pré-levé (permittage) - levé (fenêtre de temps, 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.

2.1.3.6 Zone Nord du PER

Compte tenu de la forte demande de chaleur de cette partie Nord du PER, Georhin a 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 5). Ces travaux permettront en 2024 d'avoir une bonne idée du potentiel Lithium et connexes 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 1.



2.1.3.7 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 essaims sismiques du doublet de Vendenheim et l'essai dit de « Strasbourg Nord ».

Etape 2 : Application aux zones Ouest et Sud du PER

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.