

B. Cahier des charges

PROGRAMME D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT DE DONNEES SISMIQUES EN FRANCE

1.	Eléments de contexte	5
1.1.	Les activités de l'ADEME	5
1.2.	Contexte de l'étude.....	5
2.	Les attentes de l'ADEME vis-à-vis des prestations à réaliser	6
2.1.	Finalités et objectifs.....	7
2.1.1.	Projet Ouest et Sud parisien	7
2.1.2.	Projet Synclinal de l'Arc	7
3.	Détails et objectifs des prestations.....	8
3.1.	Lot 1 : Acquisition de données sismiques Ouest et Sud parisien.....	8
3.2.	Lot 2 : Traitement des données anciennes et récentes Ouest et Sud parisien	10
3.3.	Lot 3 : Interprétation Quantitative.....	12
3.4.	Lot 4 : Acquisition de données sismiques synclinal de l'Arc	13
3.5.	Lot 5 : Traitement des données sismiques synclinal de l'Arc.....	13
4.	Organisation, conditions d'exécution et de pilotage des prestations d'acquisition sismique. Lot 1 et Lot 4	14
4.1.	Organisation	14
4.1.1.	Logistique.....	14
4.1.2.	Mobilisation	14
4.1.3.	Préparation de l'acquisition	14
4.1.4.	Contrôle et suivi par le demandeur.....	15
4.1.5.	Délais de fourniture des résultats.....	15
4.1.6.	Démobilisation	15
4.1.7.	Conditions de stand-by	15
4.1.8.	Planning d'acquisition journalier	16
4.2.	Modalités d'exécutions	16
4.2.1.	Exécution	16
4.2.2.	Obligations de l'ADEME	16
4.2.3.	Suivi des opérations.....	16
4.2.4.	Constatation de l'exécution des prestations	16
4.3.	Calendrier de réalisation des prestations	16
5.	Organisation, conditions d'exécution et de pilotage des prestations des lot 2, lot 3 et lot 5	18

5.1.	Organisation	18
5.2.	Modalités d'exécutions	18
5.2.1.	Exécution	18
5.2.2.	Obligations de l'ADEME	18
5.3.	Calendrier de réalisation des prestations	18
5.3.1.	Lot 2	18
5.3.2.	Lot 3	18
5.3.3.	Lot 5	19
6.	Annexes Ouest et Sud parisien	20
6.1.	Contexte géologique.....	20
6.2.	Données de sismique	21
6.3.	Données de puits	22
6.4.	Tracés prévisionnels proposés pour l'acquisition (Lot 1)	25
6.4.1.	Partie forfaitaire	25
6.4.2.	Partie unitaire.....	26
6.5.	Lignes sismiques candidates au retraitement et à l'interprétation quantitative (Lot 2 et Lot 3).....	27
6.5.1.	Partie forfaitaire	27
6.5.2.	Partie unitaire.....	29
7.	Annexes Synclinal de l'Arc	35
7.1.	Contexte géologique.....	35
7.2.	Données de sismique	37
7.3.	Données de puits	38
7.4.	Tracé proposé pour l'acquisition.....	39
8.	Annexe technique acquisition terrestre Lot 1 et Lot 4.....	40
8.1.	Introduction	40
8.2.	Implantation et caractéristiques des profils	40
8.3.	Moyens mis en œuvre	40
8.3.1.	Levé topographique	40
8.3.2.	Source.....	40
8.3.3.	Programme d'essai	41
8.3.4.	Récepteur	41
8.3.5.	Essai des instruments de mesure	42
8.3.6.	Traitement.....	42
8.3.7.	Travail de nuit	42
8.4.	Récapitulatif des paramètres d'acquisition terrestre.....	42
8.4.1.	Lot 1.....	42
8.4.2.	Lot 4	43
8.5.	Livrables	43

9. Annexe technique acquisition marine Lot 4	43
9.1. Introduction	43
9.2. Implantation et caractéristiques des profils	43
9.3. Moyens mis en œuvre	44
9.3.1. Source.....	44
9.3.2. Programme d'essai.....	44
9.3.3. Récepteur	44
9.3.4. Essai des instruments de mesure	45
9.4. Récapitulatif des paramètres d'acquisition marine.....	45
9.5. Livrables	45
10. Annexe technique traitement des données Lot 2	46
10.1. Les données brutes.....	46
10.1.1. Tirs sismiques	46
10.1.2. Documents terrain.....	46
10.1.3. Localisation des données	46
10.1.4. Système de coordonnées.....	46
10.2. Description du besoin pour le traitement des données de sismique 2D.....	46
10.2.1. Séquence de traitement profils sismiques.....	46
10.2.2. Caractéristique de l'ondelette après traitement	47
10.2.3. Imagerie sismique temps PSTM.....	47
10.2.4. Imagerie sismique profondeur PSDM	48
10.2.5. Contrôle qualité	48
10.2.6. Définitions des erreurs.....	49
10.2.7. Livrables	50
10.3. Description du besoin pour le traitement des VSP.....	50
10.3.1. Séquence de traitement.....	51
10.3.2. Livrables	51
11. Annexe technique interprétation quantitative Lot 3.....	51
11.1. Données	51
11.2. Description du besoin.....	51
11.3. Reporting	52
11.4. Livrables	52
12. Annexe technique traitement des données Lot 5	53
12.1. Description du besoin.....	53
12.2. Livrables	53
13. Bibliographie	54
Tableau 1 : Exemple de tableau de planning des différentes phases.....	17

Tableau 4 : Listes des ouvrages d'hydrocarbures et de géothermies présents dans le secteur d'étude	23
Tableau 5 : Liste des lignes sismique à retraiter (partie forfaitaire, lot 2, Ouest et Sud parisien) .	29
Tableau 6 : Lignes sismique à retraiter (partie unitaire lot 2, Ouest et Sud parisien).....	30
Tableau 7 : Listes des ouvrages disponibles dans la zone d'étude du synclinal de l'Arc.....	38
Tableau 8 : Paramètre de la source	41
Tableau 9 : Configurations d'acquisition pour lesquelles un coût devra être donné. La colonne F correspond à une	41
Tableau 10 : Livrables du Lot 1 et du Lot 4.....	43
Tableau 11: Livrables spécifiques à la partie marine du lot 4	45
Tableau 12 : Liste des produits à livrer pour le traitement et l'imagerie.....	50
Tableau 13 : Livrables du lot 3	53

Figure 1 : Périmètre du projet Ouest et Sud parisien	6
Figure 2 : Périmètre du projet du synclinal de l'Arc.....	6
Figure 3: Campagnes sismiques 2D sur le secteur d'étude classés par typologie de campagne.....	9
Figure 4: Localisation des projets avancés, en cours d'étude ou en prévision (source ADEME IDF et filière)	11
Figure 5 : Coupe géologique générale du Bassin de Paris et localisation des formations aquifères, d'après (Perrodon et al., 1990).....	20
Figure 6. Caractéristiques géologiques du Bassin de Paris. A – principales unités tectoniques du socle Varisque et affleurements des dépôts Cénozoïques. B – Vitesse des ondes P à 150 km sous le bassin montrant une discontinuité sous la faille du pays de Bray d'après (Briais et al., 2016)...	21
Figure 7 : Campagnes sismiques 2D sur le secteur d'étude, classées par typologie de campagne dans le sud et l'ouest parisien	22
Figure 8 : Lignes sismiques 2D à acquérir dans la partie forfaitaire du Lot 1 (en rouges)	26
Figure 9 : Lignes sismiques à traiter dans la partie forfaitaire du Lot 2.....	28
Figure 10 : Lignes sismiques dans la partie unitaire et forfaitaire du retraitement lot 2, Ouest et Sud parisien	30
Figure 11: Données disponibles sur la zone d'études.....	37
Figure 12 : Tracé des lignes sismiques prévues dans le lot 4	39

1. Éléments de contexte

1.1. Les activités de l'ADEME

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, gaspillage alimentaire, déchets, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

1.2. Contexte de l'étude

Après plus de 50 ans d'exploitation des ressources géothermales pour l'alimentation de réseaux de chaleur sur le territoire métropolitain, la filière de géothermie profonde se trouve désormais à une période charnière où des développements conséquents sont nécessaires pour atteindre les objectifs fixés à l'échelle nationale et locale en matière de mix d'énergie renouvelable. Pour atteindre ces objectifs, il apparaît primordial d'améliorer la connaissance du sous-sol au droit de sites d'intérêt, où la géothermie semble présenter de forts potentiels et pourrait répondre à des besoins énergétiques identifiés en surface. L'ADEME avec le support technique du BRGM met en place un programme d'exploration du sous-sol dans deux secteurs clés pour le développement de la géothermie profonde en France métropolitaine : le croissant de l'Ouest et Sud parisien (Figure 1) ainsi que la zone du synclinal de l'Arc (Figure 2) qui est encore très mal connue. Ces projets se placent dans l'action 4A du plan d'action pour la Géothermie présenté en février 2023 par le ministre de la Transition Énergétique.

Le programme d'exploration sur les deux zones identifiées contient des études géologiques (laboratoire et terrain), de nouvelles acquisitions géophysiques, du traitement de lignes anciennes, ainsi que la construction de modèles de réservoirs des zones étudiées basés sur l'intégration des données collectées.

Ce programme d'exploration comprend l'acquisition et le traitement de nouvelles données (géologie et géophysique) ainsi que du retraitement de données anciennes. Les techniques d'interprétation quantitative seront aussi déployées pour permettre d'obtenir une information pertinente et plus contraintes sur les propriétés pétrophysiques des réservoirs. Les traitements devront donc permettre ce travail quantitatif en préservant les amplitudes et les acquisitions modernes devront contenir un spectre de fréquence large.

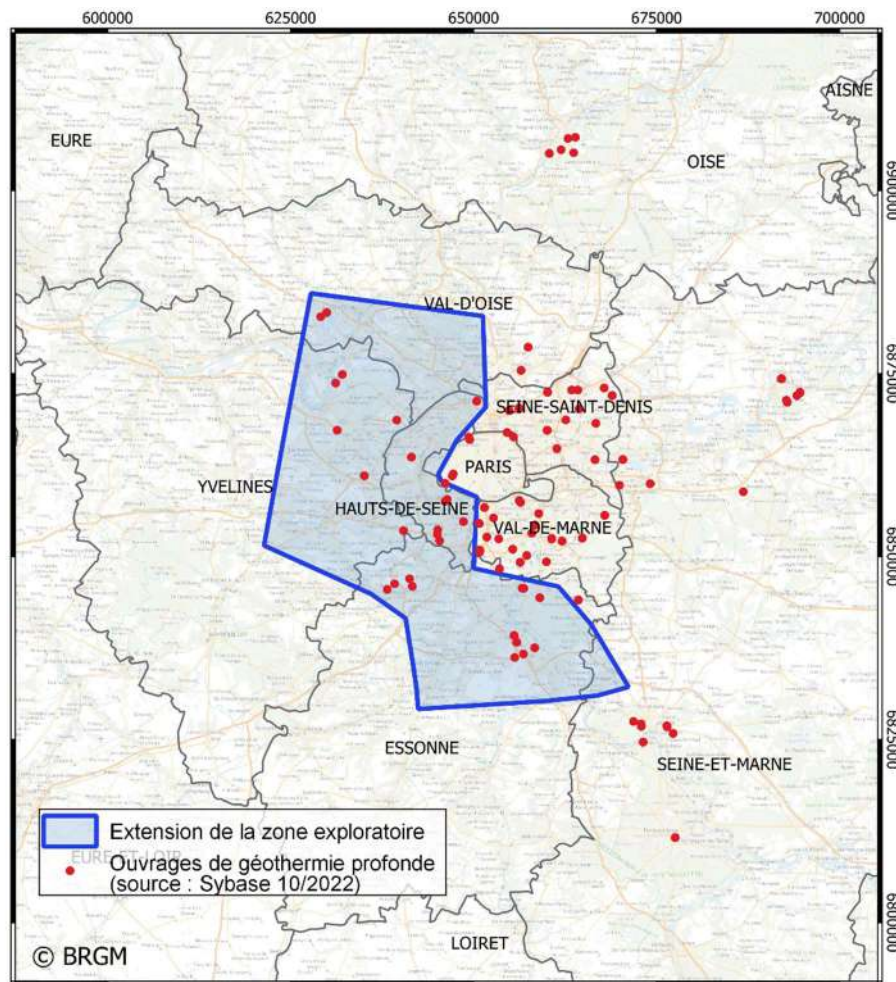


Figure 1 : Périmètre du projet Ouest et Sud parisien

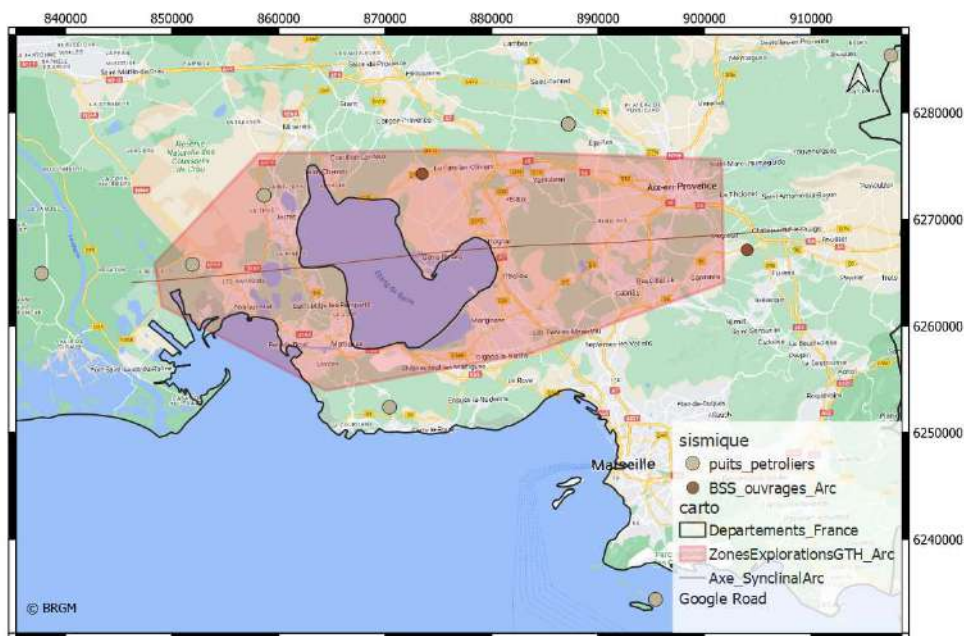


Figure 2 : Périmètre du projet du synclinal de l'Arc

2. Les attentes de l'ADEME vis-à-vis des prestations à réaliser

2.1. Finalités et objectifs

2.1.1. Projet Ouest et Sud parisien

Les objectifs du programme d'exploration de la ressource géothermale profonde de l'Ouest et du Sud parisien sont :

- de **définir la probabilité de trouver des ressources exploitables au droit du site d'étude** (POS), en particulier au niveau des formations géologiques de l'Albien, du Néocomien, de l'Oxfordien, du Dogger et du Trias sur la zone d'étude identifiée ;
- de **mieux contraindre les paramètres du sous-sol** pour les estimations basses et hautes (P90 et P10) des puissances extractibles pour un aquifère donné sur le secteur d'étude pour s'assurer de proposer des projets économiquement viables, et également éviter le sous ou surdimensionnement ;
- de mettre à disposition des collectivités et des acteurs de la filière énergétique les informations acquises pour la poursuite des investigations (si des incertitudes persistent en fin de projet) ou le développement de nouveaux projets de géothermie sur l'Ouest et le Sud parisien (si les incertitudes sont levées ou réduites) ou pour la poursuite des investigations du sous-sol si les incertitudes persistent en fin de projet. Ces informations prenant la forme de données brutes, de données intégrées dans des modèles du sous-sol et de documents de communication à destination des collectivités ;
- de définir *in fine* des zones de favorabilité pour de nouveaux projets de géothermie du point de vue des connaissances acquises sur le sous-sol (géométries, perméabilité, température principalement) et d'estimer le potentiel géothermique des formations à partir d'un modèle structural et géologique 3D ainsi que des propriétés de réservoir sur la zone d'étude. Des modélisations thermo-hydrodynamiques pour certaines formations seront réalisées avec la calibration de ces modèles sur des données d'exploitation de doublets déjà existants afin notamment d'améliorer la caractérisation des réservoirs pour l'implantation de futurs projets.

Le projet pourra apporter des éléments d'informations à des porteurs de projet, aux pouvoirs publics et aux collectivités présents sur le territoire dès la première année de réalisation du projet et tout au long du projet, jusqu'à sa finalisation. Il doit permettre d'apporter en particulier des informations sur la porosité, la perméabilité, les volumes d'argile, (Allo et al., 2021 ; Capar et al., 2021) pour les formations ciblées ainsi que les géométrie des formations et des réservoirs, les structures géologiques (failles, sillon marneux en particulier).

Dans le secteur d'étude du sud et de l'ouest parisien, des lignes 2D sismiques datant des années 80 en majorité, sont présentes. On dénombre environ 1 710 km de lignes dont la qualité et l'aptitude à lever les incertitudes sur les formations à explorer peuvent varier (fonction de la date d'acquisition, des paramètres d'acquisition, etc.).

Des données de diagraphies de forages pétroliers et géothermiques sont également disponibles et seront étudiées pour la caractérisation des paramètres pétrophysiques (e.g. porosité) et élastiques (e.g. vitesses des ondes sismiques) des formations. Ces données de diagraphie sont également nécessaires pour mener l'analyse quantitative (calibration des données pétrophysiques en un point, lien entre porosité et impédance acoustique pour les lithologies du réservoir, identification des minéraux composant le réservoir).

La prestation devra ainsi permettre de (1) retraiter des données disponibles de sismiques 2D et VSP, (2) acquérir de nouvelles données sismiques et (3) réaliser une interprétation quantitative de ces éléments à travers différents lots, décrits en section 3.

2.1.2. Projet Synclinal de l'Arc

Les objectifs du projet du Synclinal de l'Arc sont :

- de **définir la probabilité de trouver des ressources exploitables au droit du site d'étude** (POS) et raffiner l'estimation au fur et à mesure de l'avancée du projet du PoS, en particulier au niveau des formations géologiques des calcaires de l'urgonien.;
- de **mieux contraindre les paramètres du sous-sol** pour les estimations basses et hautes (P90 et P10) des puissances extractibles pour un aquifère donné sur le secteur d'étude pour s'assurer de proposer des projets économiquement viables, et également éviter le sous ou surdimensionnement ;
- de mettre à disposition des collectivités et des acteurs de la filière énergétique les informations acquises pour le développement de nouveaux projets de géothermie sur la zone d'étude du synclinal de l'Arc (si les incertitudes sont levées ou réduites) ou pour la poursuite des investigations du sous-sol si les incertitudes persistent en fin de projet. Ces informations prenant la forme de données brutes, de données intégrées dans des modèles du sous-sol et de documents de communication à destination des collectivités ;
- de définir *in fine* des zones de favorabilité pour de nouveaux projets de géothermie du point de vue des connaissances acquises sur le sous-sol (géométries, perméabilité, température principalement) et d'estimer le potentiel géothermique des formations à partir d'un modèle structural et géologique 3D ainsi que des propriétés de réservoir sur la zone d'étude

Le projet pourra apporter des éléments d'informations à des porteurs de projet, aux pouvoirs publics et aux collectivités présents sur le territoire dès la première année de réalisation du projet et tout au long du projet, jusqu'à sa finalisation. Il doit permettre d'apporter en particulier des informations sur la porosité, la perméabilité, pour les formations ciblées ainsi que les géométries des formations et des réservoirs, les structures géologiques (failles, structures).

L'absence de données de sismique réflexion de bonne qualité sur la zone d'étude nécessitera l'acquisition de nouvelles données qui seront traitées puis interpréter de manière quantitative (le faible nombre de diagraphie nécessitera l'utilisation d'analogues pour la création du modèle de physique des roches).

La prestation devra ainsi permettre de (1) acquérir de nouvelles données sismiques (2) de traiter ces nouvelles données (3) en réaliser une interprétation quantitative.

3. Détails et objectifs des prestations

3.1. Lot 1 : Acquisition de données sismiques Ouest et Sud parisien

L'exploration pétrolière du Bassin parisien dans les années 80 a permis l'acquisition d'une grande quantité de profils sismiques 2D (Figure 3). Ces lignes recouvrent la zone d'étude de manière quasi uniforme mais certains trous peuvent être observés. Par ailleurs, la qualité des données acquises dans les années 80 ne permet pas toujours d'effectuer une interprétation quantitative permettant de caractériser les propriétés pétrophysiques du réservoir. L'acquisition de nouvelles données modernes ayant une couverture plus importante et un contenu fréquentiel plus large est donc indispensable pour passer d'une interprétation purement géométrique et structurale des réflexions à une interprétation quantitative. L'objectif du lot 1 est donc d'acquérir des données modernes sur la zone d'étude.

Le lot 1 se décompose en deux phases qui seront de la responsabilité du titulaire :

- Phase 1 : Permitting et indemnités éventuelles

- Phase 2 : Mobilisation/démobilisation du matériel et acquisition des données sismiques

Le lot 1 consiste à acquérir un maximum de km des profils sismiques 2D proposés au paragraphe 6.4 en respectant le montant maximum de **1 230 000 €**, ce qui consiste en la partie forfaitaire de ce lot (cf. tracé en Figure 8). La partie unitaire se fera par tranche de **10 km (jusqu'à 150 km maximum)**. La partie unitaire si elle est réalisée, se fera pendant la partie forfaitaire évitant ainsi la nécessité de démobiliser/mobiliser le matériel d'acquisition. Un tracé prévisionnel des parties unitaires est proposé en Annexe 6.4

Le contexte de la zone d'étude de l'ouest et du sud parisien est donné en annexe 6. Les détails techniques de l'acquisition sont présentés en annexe 8.

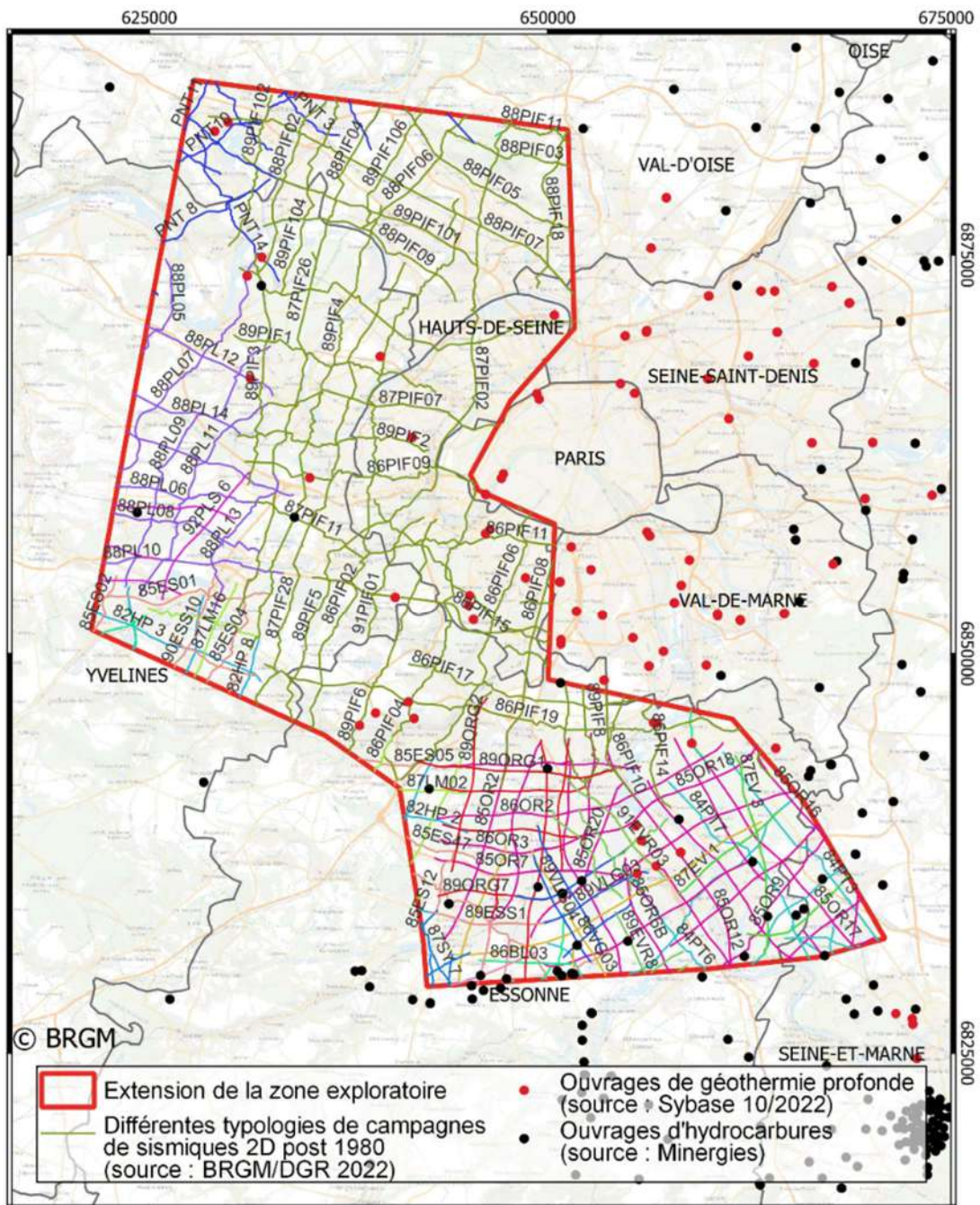


Figure 3: Campagnes sismiques 2D sur le secteur d'étude classés par typologie de campagne

3.2. Lot 2 : Traitement des données anciennes et récentes Ouest et Sud parisien

Le **traitement des données de sismique réflexion** est une étape majeure du projet qui permettra de lever les incertitudes relatives aux géométries des formations i.e. définir la position précise des toits et murs des principaux réservoirs et leurs épaisseurs, la position des failles et leur rejeu. Le **traitement devra être à amplitude préservée pour permettre de faire une interprétation quantitative** de la donnée sismique (Lot 3). Dans le secteur du projet, les lignes à retraiter seront définies en fonction de leur qualité et de leur aptitude à lever les incertitudes. Ces lignes correspondront à une portion plus ou moins importante des quelques 1 710 km de lignes se trouvant dans la zone, voire leur extension au-delà de la zone pour permettre l'intersection de forages de référence pour la calibration ou permettre d'imager des structures géologiques (e.g. failles, sillon marneux).

Pour valider la méthodologie, une première partie forfaitaire consistera à retraiter une petite partie des données disponibles sur le secteur d'étude. Il s'agira ainsi de retraiter quelques transects sur la zone de l'ordre de 2 lignes en longueur (N-S) et de 4 lignes en largeur (E-W) correspondant à environ 300 km de lignes à retraiter (cf. tracés prévisionnels des lignes à retraiter en section 6.5, Figure 9). Le retraitement des lignes sismiques 2D sera complété par le traitement de profils sismiques verticaux (VSP) présents sur la zone afin d'améliorer la calibration de la sismique aux puits (une dizaine de VSP sont disponibles sur le secteur d'étude).

En fonction des résultats de cette première phase, si le retraitement des données a permis de lever de façon significative les incertitudes sur un ou plusieurs réservoirs ciblés, il sera alors possible d'engager une seconde phase de retraitement des données via une partie unitaire (cf. section 6.5, Figure 10).

Le choix des lignes proposé sera précisé en fonction des disponibles des lignes 2D et de la qualité des données et des paramètres d'enregistrement. Le choix se fera également en fonction des cibles exploratoires de géothermie « court termes » en lien avec les projets identifiés avec l'ADEME et la filière dans les années à venir (cf. Figure 4).

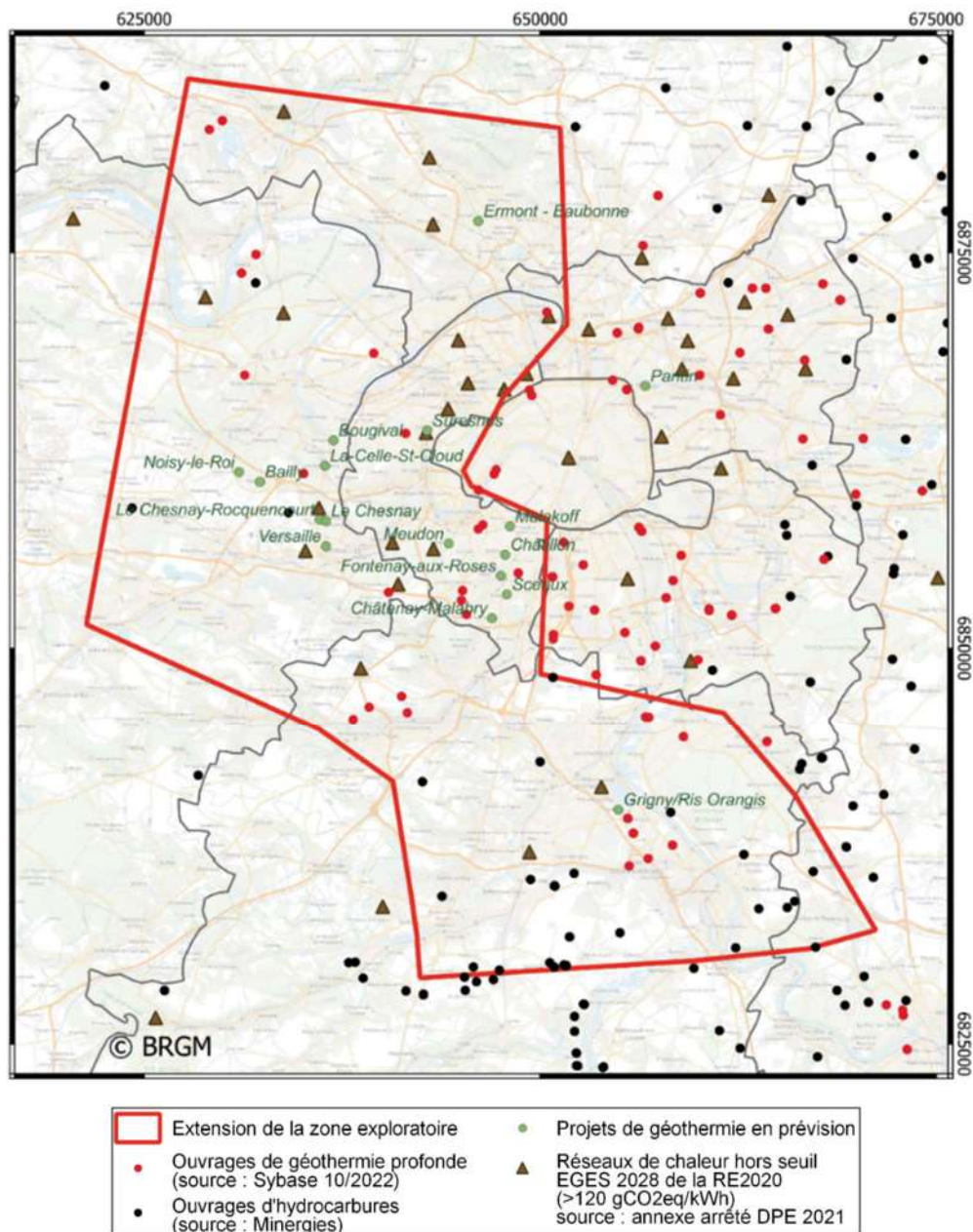


Figure 4: Localisation des projets avancés, en cours d'étude ou en prévision (source ADEME IDF et filière)

Le traitement des **données récentes acquises dans le cadre du Lot 1** fait aussi partie de ce lot. La longueur totale dépendra de la quantité de données acquises.

Ce lot sera donc scindé en quatre parties, deux forfaitaires et deux unitaires :

1. Retraitement des données anciennes de sismique de surface (300 km forfaitaire)
2. Traitement de VSP dans la zone d'étude pour obtenir les information temps/profondeur (10 VSP forfaitaire)
3. Traitement des données récentes (unitaire, nombre de km dépendant de l'acquisition du Lot 1 et par tranche unitaire de 20 km jusqu'à 300 km)
4. Retraitement des données anciennes (unitaire de 100 km avec un maximum de 1500 km)

Les lignes sismiques proposées au retraitement (la sélection se fera avant le début du projet) sont identifiées dans le chapitre 6.5

Les détails du traitement sont explicités dans l'annexe 0.

3.3.Lot 3 : Interprétation Quantitative

Ce lot a pour but de permettre d'extraire des données sismiques traitées, les caractéristiques pétrophysiques des différents réservoirs. Cette étape peut apporter des informations sur la porosité, la perméabilité, les volumes d'argile, (Allo et al., 2021 ; Capar et al., 2021). Cette analyse se fera en lien avec l'étude des diagraphies de forages qui donne une information sur les paramètres pétrophysiques (e.g. porosité) et élastiques (e.g. vitesses des ondes sismiques) des formations. Ces données de diagraphie sont nécessaires pour mener cette analyse (calibration des données pétrophysiques en un point, lien entre porosité et impédance acoustique pour les lithologies du réservoir, identification des minéraux composant le réservoir). La construction du modèle pétro-élastique à partir des diagraphies fait partie de ce lot. Les données des deux projets (Ouest et Sud Parisien, Synclinal de l'Arc) seront utilisées dans ce lot.

Le lot est scindé en cinq parties, deux partie forfaitaire et trois parties unitaires.

1. Forfaitaire, Interprétation quantitative de la partie forfaitaire du Lot 2 (i.e. 300 km de données anciennes). Cette partie intègre la création du modèle pétro-élastique pour la zone d'étude de l'Ouest et du Sud parisien.
2. Unitaire, interprétation quantitative des données acquises du Lot 1 (300 km maximum) par tranche de 20 km.
3. Unitaire, interprétation quantitative des données anciennes traitées dans le Lot 2 (jusqu'à 1500 km par tranche de 100 km).
4. Forfaitaire, création du modèle pétro-élastique pour le synclinal de l'Arc
5. Unitaire, Interprétation quantitative des données acquises dans le Lot 4 (Synclinal de l'Arc) (max 300 km) par tranche de 20 km.

Les parties 1 à 3 traitent des données de l'Ouest et du Sud parisien, et les parties 4 et 5 celles du synclinal de l'Arc. Le modèle pétro-élastique déterminé dans la partie 1 sera utilisé pour les parties 2 et 3.

Les détails techniques de ce lot sont donnés en annexe 11.

3.4. Lot 4 : Acquisition de données sismiques synclinal de l'Arc

Il existe très peu de données sismiques de bonne qualité sur la zone du synclinal de l'Arc (annexe 7.2) alors que le contexte géologique est complexe (annexe 7.1). Ce lot a **pour objectif la réalisation d'une acquisition moderne** couvrant toute la zone d'étude ayant un taux de multiplicité important, et un contenu fréquentiel large est nécessaire pour permettre de mieux caractériser les structures géologiques profonde du synclinal de l'Arc (2500 m). Du fait de la présence de l'étang de Berre, l'acquisition sera mixte, marine et terrestre. Il est important de préciser que tous les capteurs (terrestre ou marin) d'une même ligne doivent être placés de telle sorte à enregistrer aussi bien une source terrestre que marine dans la limite des offsets à acquérir, dans le but d'assurer la continuité des enregistrements et ne pas avoir de trous dans l'acquisition.

Le lot 4 se décompose en deux phases qui seront de la responsabilité du titulaire :

- Phase 1 : Permitting et indemnités éventuelles
- Phase 2 : Mobilisation/démobilisation du matériel et acquisition des données sismiques

Ce lot consiste à acquérir un maximum des 300 km (227 km terrestre + 73km marine) de profil prévu (annexe 0) pour un budget maximum de 2 580 000 €.

Les détails techniques de l'acquisition sont présentés en annexe 8 pour la partie terrestre et en annexe 0 pour la partie marine. Le contexte du synclinal de l'Arc est donné en annexe 7.

3.5. Lot 5 : Traitement des données sismiques synclinal de l'Arc

Ce lot consiste à **traiter les données de sismiques réflexions** acquises dans le Lot 4. Le but de ce traitement est de permettre de déterminer la géométrie des formations i.e. définir la position précise des toits et murs des différentes unités géologiques, de leur épaisseur, la position des failles d'Aix et de Cavaillon et potentiellement de leur rejeu sur le secteur d'étude. **Le traitement devra être à amplitude préservée pour permettre de faire une interprétation quantitative.** Le traitement devra répondre aux défis suivants ;

- Lignes 2D non rectilignes
- Mix entre acquisition terrestre et marine
- Bruits dus à l'activité anthropique
- Structure géologique potentiellement complexe

Les caractéristiques du traitement sont explicitées en annexe 12.

La quantité exacte de données à traiter dépendra du lot 4. Ce lot se fera par partie unitaire de 20km pour un maximum de 300 km, le but étant de traiter l'intégralité des données acquises du lot 4.

Les détails techniques de l'acquisition sont présentés en § 8 et §9.

4. Organisation, conditions d'exécution et de pilotage des prestations d'acquisition sismique. Lot 1 et Lot 4

4.1. Organisation

4.1.1. Logistique

L'entrepreneur mettra en œuvre le matériel nécessaire et en quantité suffisante pour mener à bien l'acquisition des profils tels que définis dans le chapitre des spécifications techniques. Ce matériel sera pourvu de toutes les pièces de rechange requises pour assurer la maintenance. Des équipements de rechange de caractéristiques identiques seront prévus afin qu'en cas de panne, l'appareillage défectueux soit remplacé sans délai. Les notices techniques des équipements utilisés seront mises à disposition du superviseur. Les principales caractéristiques techniques des appareillages seront annexées au contrat.

L'entrepreneur s'engage également à mettre à disposition le personnel qualifié nécessaire à la réalisation des profils sismiques. Il fournira dans l'offre une liste détaillée du personnel pressenti mentionnant leur domaine de compétence. Cette liste sera annexée au contrat.

La base d'opération comportera un local bureau équipé de téléphone, internet où le chef de mission pourra être joint.

L'entrepreneur devra s'assurer de l'approvisionnement en fourniture et leur transport jusqu'au lieu de cantonnement des consommables tels que :

- carburants et lubrifiants ;

4.1.2. Mobilisation

L'entrepreneur établira un plan d'intervention détaillé dans un délai de 3 semaines après notification du marché. Ce plan d'intervention sera validé par l'ADEME.

L'entrepreneur devra également soumettre un engagement formel concernant les dispositions qu'il a prises en matière de qualité et de sécurité. Il établira et fournira à l'ADEME, un mois avant le démarrage des travaux, un plan d'assurance qualité (PAQ) concernant les prestations demandées, ainsi qu'un plan des mesures de sécurité (PMS) conformes à la réglementation française en matière d'hygiène et sécurité.

4.1.3. Préparation de l'acquisition

Outre la mise en œuvre, l'entrepreneur assurera les prestations suivantes :

- **Formalités administratives** concernant le démarrage de l'équipe notamment de préciser les conditions préalables de travaux à proximité des ouvrages de concessionnaires (gaz, électricité, eau potable, suivant les décrets 2011-1241 du 5 octobre 2011 abrogeant le décret n°91-1147 du 14 octobre 1991 ainsi que :
- la déclaration de levés de mesures géophysiques au titre du Code Minier, titre VIII, article 133 ;
- la déclaration de sondage, ouvrage souterrain ou travail de fouille au titre du Code Minier, article 131 ;
- les déclarations auprès des mairies, des gendarmeries, des préfectures dont dépendent les communes concernées par le tracé ;
- les déclarations auprès des divisions de l'Equipement pour obtenir des polices de route.
- **Voyage** du personnel et **transport** du matériel pour la mise en place et le repli des équipes ;
- **Permitting** incluant la reconnaissance préalable pour les autorisations d'accès sur les différents sites avec procès-verbal d'état des lieux après opération et négociations

d'indemnités éventuelles après accord du demandeur et paiement. Ces travaux spécifiques peuvent être sous-traités auprès d'une société extérieure à l'entrepreneur.

4.1.4. Contrôle et suivi par le demandeur

Le demandeur souhaite valider la qualité de la prestation à différents niveaux, sur les rejeux analogiques et sur les données numériques :

- pour les mesures brutes, afin de s'assurer que les conditions d'acquisition respectent les spécifications demandées ;
- pour les données prétraitées (corrélées), afin de contrôler que les précisions obtenues sont conformes à celles attendues.

Pour toutes les opérations de contrôle ou de supervision concernant la réception des équipements, le respect des tolérances, l'exécution et la réception des enregistrements, le demandeur pourra se faire assister par un service ou par un expert de son choix.

L'ADEME prévoit d'être représenté sur site durant la phase d'acquisition des données par des observateurs géophysiciens et géologues.

Le chef de mission leur fournira tous les renseignements sur la marche des opérations.

4.1.5. Délais de fourniture des résultats

L'entrepreneur fournira au superviseur présent sur le site les documents de production et les éléments souhaités pour le suivi et le contrôle de la qualité des données.

De plus, l'entrepreneur fournira un rapport hebdomadaire, faisant un état récapitulatif de l'avancement de l'acquisition.

4.1.6. Démobilisation

Avant la démobilisation, les lieux devront être remis en état avec les moyens en matériel et personnel présents sur le site.

L'entrepreneur doit réparer les dommages accidentels et les dommages non accidentels résultant des négligences de son personnel.

4.1.7. Conditions de stand-by

Elles seront conformes aux points suivants :

- Elles entreront en vigueur après le démarrage de la production,
- Elles n'incluent pas les cas liés à la météorologie, les pannes ou tout dysfonctionnement du matériel utilisé, à un quelconque retard en approvisionnement en carburant.

Pour ce dernier cas, l'entrepreneur prendra ses dispositions pour pallier toutes éventualités.

4.1.8. Planning d'acquisition journalier

Afin de communiquer avec les collectivités locales, le public et les différentes parties prenantes sur le déroulement à venir des opérations, le planning prévisionnel des points à vibrer pour le jour J+1 seront communiqués le jour J au plus tard à 17h00 sous forme d'un fichier .shp, .kmz ou autre format à définir en début de projet.

Le candidat peut aussi proposer un système de son choix qui permettrait d'effectuer cette tâche.

4.2. Modalités d'exécutions

4.2.1. Exécution

L'entrepreneur s'engage à réaliser les prestations définies dans les articles qui précédent et en particulier :

- Préparer l'acquisition à compter de la notification du présent contrat
- Présenter au cours d'une réunion préparatoire les conditions de réalisation de la campagne d'acquisition géophysique et la position précise des tracés.
- Démarrer l'acquisition à l'issue de la réunion préparatoire.
- Remise en état des terrains et/ou l'indemnisation des propriétaires le cas échéant.
- Fournir les supports de présentation à l'ADEME.
- Fournir le rapport d'avancement (le cas-échéant) à l'ADEME
- Fournir à l'ADEME le rapport final d'exécution des prestations comprenant les mesures aux précisions requises.
- Présenter les résultats au cours d'une réunion de clôture et de remise du rapport final.
- Fournir à l'ADEME tous les supports numériques tels que définis dans les sections Livrables.

4.2.2. Obligations de l'ADEME

L'ADEME étudiera avec l'Entrepreneur la localisation précise des profils.

4.2.3. Suivi des opérations

L'ADEME ou ses représentants suivront, sur les lieux de la mission, le déroulement des opérations d'acquisition.

L'ADEME ou son représentant assurera le contrôle des enregistrements et sera l'interlocuteur du chef de mission de l'Entrepreneur. Il se fera remettre le compte rendu journalier des opérations par l'Entrepreneur.

Pendant la période des opérations d'acquisition, le représentant de l'ADEME effectuera, à partir des rejeux de tirs, leurs vérifications quantitatives et qualitatives et leur conformité aux spécifications du CCTP, en vue de constater leur exécution. Le représentant de l'ADEME signalera à l'Entrepreneur tout élément de la prestation détectée comme non conforme au cours de cette surveillance.

4.2.4. Constatation de l'exécution des prestations

En cours d'exécution du contrat, l'ADEME contrôlera la qualité des données et des documents fournis conformément aux stipulations du CCTP.

Une à deux réunions devront être organisées avec l'ADEME avant le lancement des acquisitions sismiques afin d'établir avec précision le tracé des lignes sismiques et de présenter l'organisation de la mission d'acquisition et les paramètres d'acquisition.

4.3. Calendrier de réalisation des prestations

Le délai maximal d'exécution de **la partie forfaitaire du lot 1 et du lot 4 est de 360 jours** calendaires pour chaque lot.

Chaque partie unitaire (10km) du Lot 1 se fera en 20 jours calendaires maximum, le permitting ayant été réalisé en amont.

Un calendrier d'exécution détaillé reprenant l'ensemble des phases d'exécution sera proposé par le candidat (exemple Tableau 1). Il fera état de l'ensemble des tâches et réunions nécessaires à la bonne exécution de la prestation. Le calendrier devra inclure les parties forfaitaires ainsi que les parties unitaires (Lot 1 uniquement) qui, si elles sont réalisées, le seront selon un calendrier d'exécution inclus dans celui prévu pour la réalisation de la partie forfaitaire évitant ainsi la nécessité de démobiliser et remobiliser le matériel d'acquisition entre les phases forfaitaires et unitaires. Le calendrier de l'acquisition forfaitaire est donc prévu pour inclure la partie forfaitaire ainsi que toute les parties unitaires (si applicable), comme indiqué dans le schéma ci-dessous.

T0 : Validation de l'ADEME des parties forfaitaires et unitaires	Permitting	Mobilisation	Acquisition forfaitaire	Acquisitions unitaires 1, 2, ...	Démobilisation	Rendu des livrables T final
--	------------	--------------	-------------------------	----------------------------------	----------------	-----------------------------

La non-réalisation de la totalité du kilométrage demandé au début du projet (en fonction des paramètres d'acquisition choisis après les tests) entraînera la mise en application de pénalités.

Le non-respect du délai global d'exécution contractuel entrainera la mise en application des pénalités définies à l'article 6 du marché.

Tableau 1 : Exemple de tableau de planning des différentes phases

Phases	Durée en jours calendaire
Phase 1 Permitting	
Phase 2A Mobilisation	
Phase 2B Acquisition des données forfaitaire	
Phase 2C (Lot 1 uniquement) Acquisition des données unitaires (tranche 10km)	
Phase 2D Démobilisation	

5. Organisation, conditions d'exécution et de pilotage des prestations des lot 2, lot 3 et lot 5

5.1. Organisation

L'entrepreneur mettra en œuvre les moyens humains et informatiques nécessaires et en quantité suffisante pour mener à bien la réalisation des travaux. L'entrepreneur s'engage également à mettre à disposition le personnel qualifié nécessaire. Il fournira dans l'offre une liste détaillée du personnel pressenti mentionnant leur domaine de compétence. Cette liste sera annexée au contrat.

5.2. Modalités d'exécutions

5.2.1. Exécution

L'entrepreneur s'engage à réaliser les prestations définies dans ce cahier des charges et en particulier :

- Préparer et organiser une réunion de lancement de ses activités.
- Organiser des réunions à chaque étape importante du projet (e.g. validation de choix)
- Fournir les supports de présentation à l'ADEME.
- Fournir le rapport d'avancement (le cas-échéant) à l'ADEME.
- Fournir à l'ADEME le rapport final d'exécution des prestations.
- Présenter les résultats au cours d'une réunion de clôture et de remise du rapport final.
- Fournir à l'ADEME tous les supports magnétiques ou numériques tels que définis en 10.2.7

5.2.2. Obligations de l'ADEME

L'ADEME fournira toutes les données en sa possession nécessaires au déroulement du projet (données sismiques, de puits, etc).

5.3. Calendrier de réalisation des prestations

Un calendrier d'exécution détaillé reprenant l'ensemble des phases d'exécution sera proposé par le prestataire. Il fera état de l'ensemble des tâches et réunions nécessaires à la bonne exécution de la prestation. Le calendrier devra inclure les parties forfaitaires ainsi que les parties unitaires si elles font partie du lot.

5.3.1. Lot 2

La durée totale du lot 2 est de 24 mois à partir de la notification du marché.

Le délai **maximum d'exécution** des différents éléments du lot 2 est le suivant.

- Retraitement des données anciennes de sismique de surface (300 km forfaitaire) **90 jours calendaires**
- Traitement de VSP dans la zone d'étude pour obtenir les informations temps/profondeur (10VSP forfaitaire) **60 jours calendaires**
- Traitement des données récentes (unitaire, nombre de km dépendant de l'acquisition du Lot 1 et par tranche unitaire de 20 km) **4 jours calendaires par tranche de 20 km avec un maximum de 300 km**
- Retraitement des données anciennes (unitaire de 100 km avec un maximum de 1500 km) **20 jours calendaires par tranche de 100km**

5.3.2. Lot 3

La durée totale du lot 3 est de 24 mois à partir de la notification du marché.

Le délai **maximum** d'exécution des différents éléments du lot 3 est le suivant

- Forfaitaire, interprétation quantitative de la partie forfaitaire du Lot 2 (i.e. 300km de données anciennes) **90 jours calendaire incluant la création du modèle pétro-élastique.**
- Unitaire, interprétation quantitative des données acquises du Lot 1 par tranche de 20km, **6 jours calendaires par tranche avec un maximum de 300km**
- Unitaire, interprétation quantitative des données traitées dans le Lot 2 (jusqu'à 1500 km par tranche de 100km) **20 jours calendaires par tranche**
- Forfaitaire Création du modèle pétro-élastique pour le Synclinal de l'Arc (90 jour)
- Unitaire, interprétation quantitative des données acquises dans le Lot 4 (max 300km) par tranche de 20 km **6 jours calendaires par tranche**

5.3.3. Lot 5

La durée totale du lot 5 est de 8 mois jours à partir de l'ordre de service.

La quantité exacte de données à traiter dépendra du lot 4. Ce lot se fera par partie unitaire de 20km pour un maximum de 300 km, le but étant de traiter l'intégralité des données acquises du lot 4.

Chaque tranche de 20 km se fera en **8 jours calendaires par tranche** pour prendre en compte la complexité des données à traiter (acquisition mixte, PSDM,etc).

6. Annexes Ouest et Sud parisien

6.1. Contexte géologique

Le site d'exploration de l'Ouest et du Sud parisien se situe dans la partie centre ouest du Bassin de Paris. Il s'agit du plus grand bassin sédimentaire Français, qui s'étend sur près de 180 000 km². Ce bassin recouvre des formations du Carbonifère et du Permien et se situe entre quatre massifs cristallins (Massif armoricain, Massif central, Vosges et Ardennes). Il est relié à deux autres bassins sédimentaires, le Bassin aquitain et le Bassin du Sud-Est, par deux points hauts que sont le Haut Poitou et le Haut Bourgogne. L'origine de ce bassin est liée à une période de rift au Permo-Trias. La partie centrale du bassin, là où l'affaissement est le plus important à l'est de l'Île-de-France, est remplie d'environ 3000 m de sédiments (Delmas et al., 2002 ; Guillocheau et al., 2000 ; Housse et al., 1976 ; Perrodon et al., 1990) comme illustré en Figure 5.

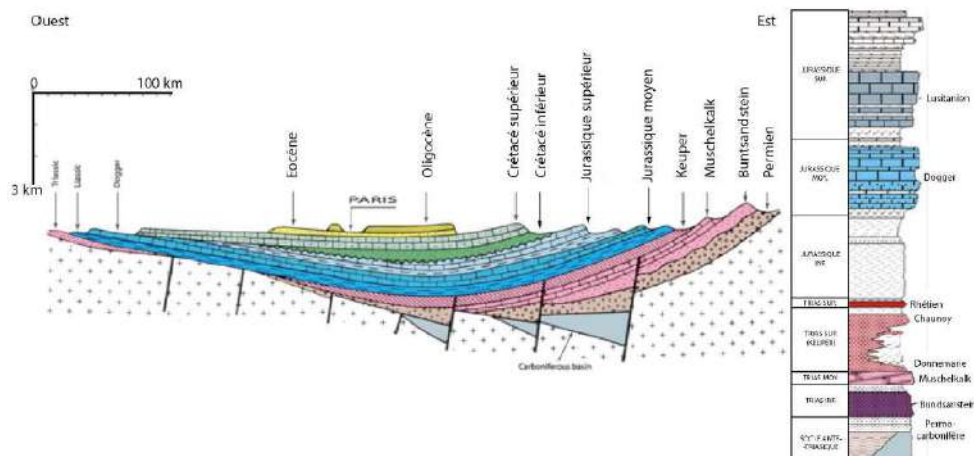


Figure 5 : Coupe géologique générale du Bassin de Paris et localisation des formations aquifères, d'après (Perrodon et al., 1990)

La partie centre ouest du Bassin de Paris a un socle hérité de l'orogénèse varisque et appartient à un bloc varisque particulier, limité à l'ouest par la faille de Bray et à l'est par la faille de la Seine et ses prolongements (Figure 6). Cette dernière, qui correspond à une structure profonde majeure (Baptiste et al., 2016), a un prolongement en surface relativement complexe. Deux failles importantes traversent ainsi la zone d'étude :

- La faille de Beynes-Meudon, prolongement direct de la faille de la Seine, s'incurvant selon une direction E-W, se terminant au sud-ouest de Paris ;
- La faille de Banthelu située plus au nord-ouest, qui affecte la zone en subsurface mais dont le tracé en surface et la géométrie en profondeur sont relativement mal connus. Ces failles ont joué de nombreuses fois tout au long de l'histoire méso-cénozoïque, et jusqu'à l'Oligocène (Briais, 2015). Il en résulte que les multiples rejeux ont exercé une influence sur la distribution des faciès et des épaisseurs, la fracturation des différents niveaux et leur décalage. La reconstitution de la géométrie de ces failles, de leur rejeu, est donc importante.

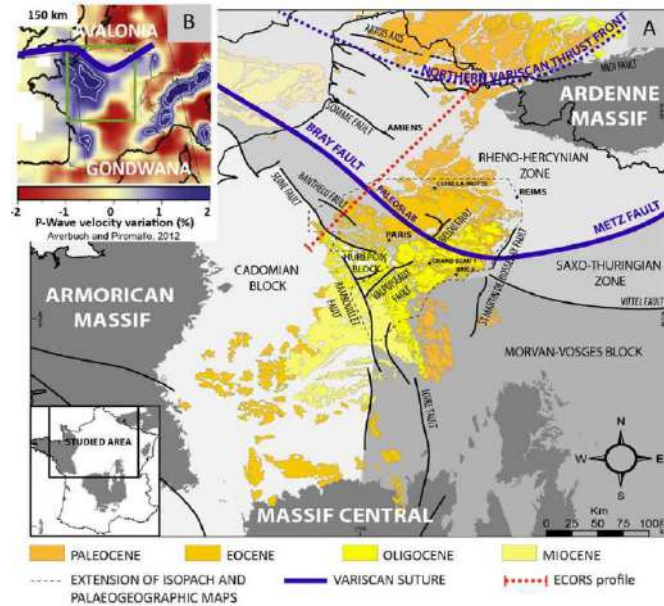


Figure 6. Caractéristiques géologiques du Bassin de Paris. A – principales unités tectoniques du socle Varisque et affleurements des dépôts Cénozoïques. B – Vitesse des ondes P à 150 km sous le bassin montrant une discontinuité sous la faille du pays de Bray d’après (Briais et al., 2016)

Les différentes cibles de géothermie profonde du Bassin de Paris correspondent aux formations clastiques de l’Albien et du Néocomien, aux carbonates de l’Oxfordien, aux carbonates du Dogger et enfin aux formations clastiques du Trias.

6.2. Données de sismique

On dénombre 1 710 km de lignes sismiques datant des années 1982 à 1995 sur le secteur d’étude (Figure 7). Les principales campagnes ont été conduites sur la partie nord-est et centrale de la zone d’étude (PIF) entre 1986 et 1991 et sur la partie la plus à l’est (PL) en 1988. Sur la partie sud de la zone d’étude, on trouve quelques campagnes majeures (PT en 1984, OR en 1985, VG en 1986, VLG en 1989, ORG en 1989 en). Plusieurs campagnes de petites envergures sont également présentes.

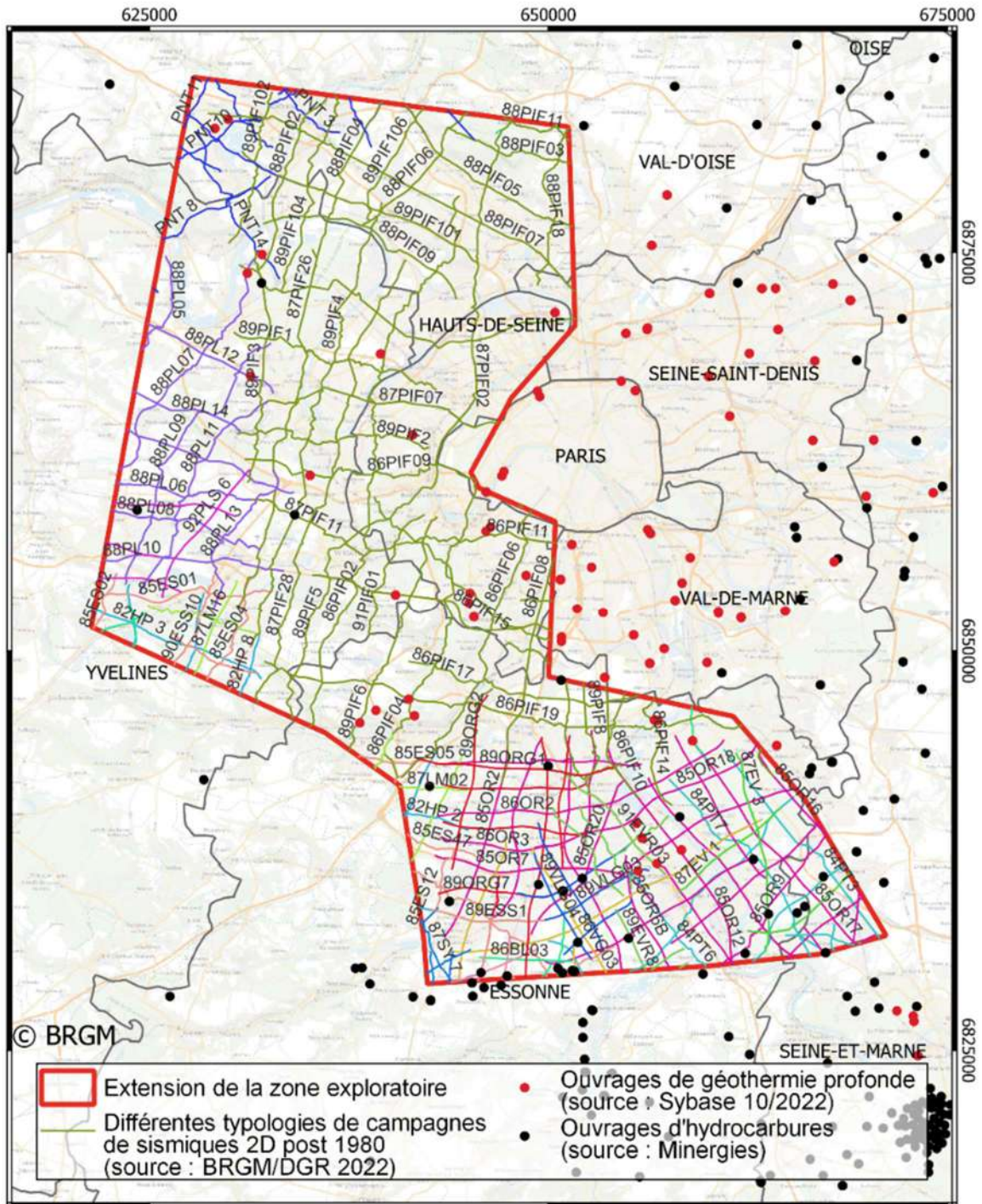


Figure 7 : Campagnes sismiques 2D sur le secteur d'étude, classées par typologie de campagne dans le sud et l'ouest parisien

6.3. Données de puits

La liste des ouvrages de géothermie et pétroliers sur le secteur d'étude et ses alentours et des diagraphies disponibles pour ces ouvrages est présentée ci-après (Tableau 2) pour les ouvrages pétroliers et pour les ouvrages géothermiques.

Tableau 2 : Listes des ouvrages d'hydrocarbures et de géothermies présents dans le secteur d'étude

liste des puits d'hydrocarbures dans la zone (Id BEPH)							
14-1011	14-1426	14-2003	14-3621	14-4145	14-4347	14-4419	14-4440
14-1111	14-1538	14-2087	14-3960	14-4158	14-4351	14-4421	14-4445
14-1112	14-1542	14-3151	14-4017	14-4205	14-4358	14-4425	14-4447
14-1114	14-1598	14-3166	14-4031	14-4208	14-4364	14-4427-B	14-4448
14-1230	14-1617	14-3255	14-4073	14-4209	14-4365	14-4428	14-4451
14-1351	14-1647	14-3261	14-4086	14-4217	14-4379	14-4429	14-4467
14-1354	14-1866	14-3271	14-4095	14-4218	14-4386	14-4430	14-4467-A
14-1357	14-1880	14-3274	14-4116	14-4221	14-4393	14-4433	14-4475
14-1358	14-1882	14-3276	14-4128	14-4231	14-4397	14-4434-A	14-4480
14-1409	14-1883	14-3316	14-4129	14-4304	14-4404	14-4439	14-4480-A
14-1410	14-1912	14-3481	14-4142	14-4345	14-4415	14-4439-A	

liste des ouvrages géothermiques dans la zone d'étude (Id BSS)					
01836A0571	02193X0372	01537X0156	BSS003EQMG	01836A0446	BSS004BVZE
01836A0572	02193X0373	BSS003EQOC	BSS003EQMC	02197X0140	02194X0177
01528X0101	02192X0292	BSS003EQOG	02582X0175	02197X0141	02194X0178
01528X0101	02192X0293	BSS003EQOK	02582X0176	BSS003EQI W	01836C0341
01823X0077	01527X0129	02193X0370	02582X0261	02193X0376	01836C0342
01823X0077	01527X0129	02193X0371	BSS003EQMS	02193X0377	02192X0471
BSS003EQIG	01527X0130	01833D0303	02194X0160	01832B0327	01836C0340
BSS003EQIK	BSS003EQO O	01833D0304	02194X0162	01832B0328	BSS004BNK N
BSS003EQHU	BSS003EQOS	01828X0118	BSS004BVLL	BSS003EQH Y	BSS004BNK M
BSS003EQH Q	BSS004BVLN	01828X0119	BSS004BVLM	BSS003EQIC	BSS004BKTV
BSS003EQHE	BSS004BVLQ	01833B0121	02193X0364	01537X0162	
BSS003EQHI	02194X0175	01833B0122	02193X0365	01537X0162	
01836D0250	02194X0176	01833B0122	02193X0374	01537X0163	
01836D0251	02197X0138	BSS003EQIA	02193X0375	BSS003EQN Y	
01836D0248	02197X0139	BSS003EWO W	BSS003EQJM	02582X0199	
01836D0249	02192X0294	01833B0118	BSS003EQJQ	02582X0200	

BSS003EQO W	02192X0295	01833B0119	BSS003EQIS	02193X0367	
BSS003EQOA	BSS003EQH M	02582X0197	BSS003EQIO	02193X0368	
BSS000MXVL	01537X0155	02582X0198	01836A0445	BSS004BVZ D	

6.4. Tracés prévisionnels proposés pour l'acquisition (Lot 1)

6.4.1. Partie forfaitaire

La Figure 8 ci-après présente en marron un tracé prévisionnel des lignes sismiques à acquérir. Ce tracé pourra être reprécisé et validé avec l'ADEME et le prestataire en amont du permitting. Il correspond à environ 130 km de lignes.

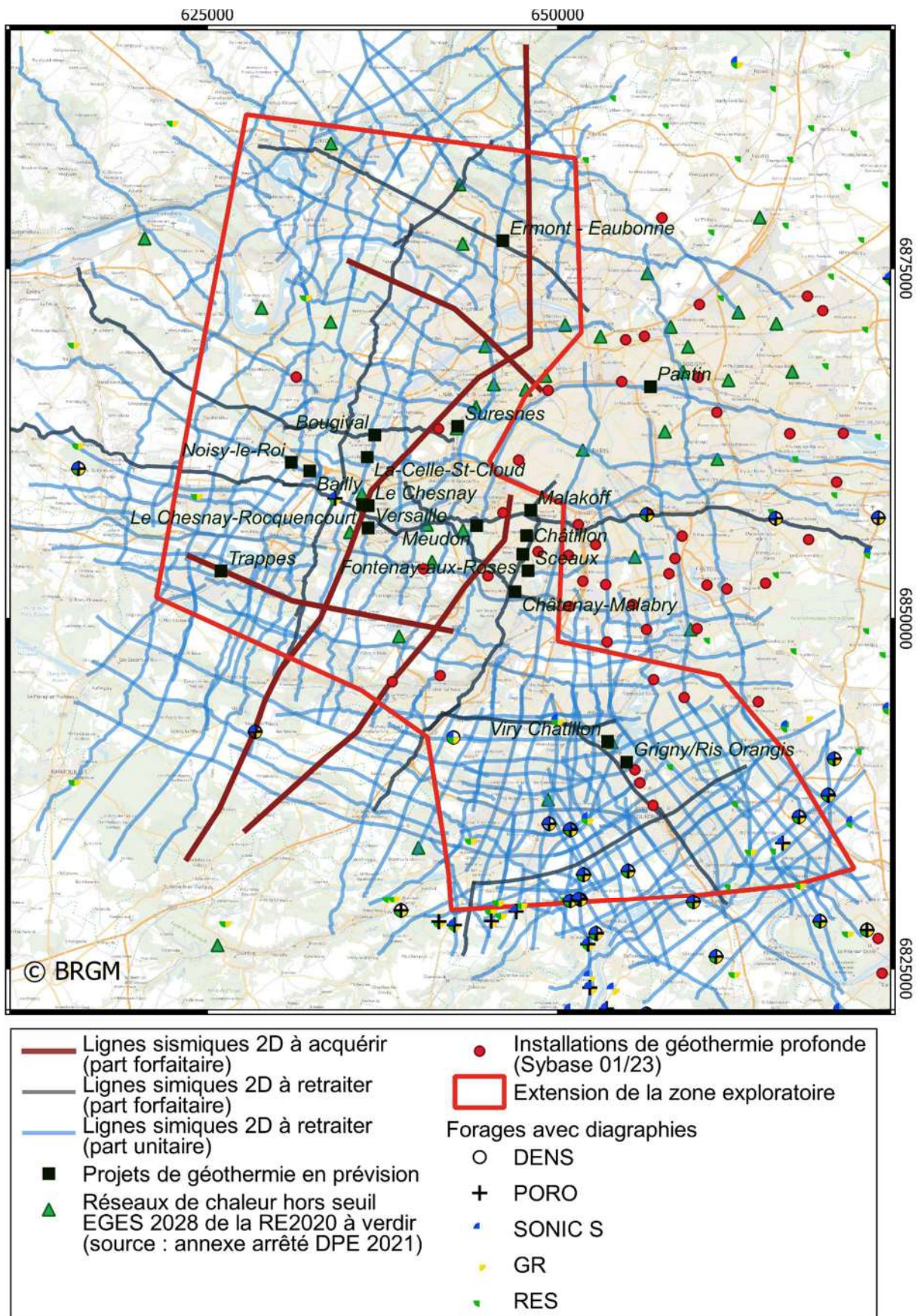


Figure 8 : Lignes sismiques 2D à acquérir dans la partie forfaitaire du Lot 1 (en rouges)

6.4.2. Partie unitaire

En ce qui concerne les parties unitaires de 10 km, le tracé des lignes sera défini et validé en amont du *permitting* par l'ADEME et le prestataire. L'acquisition de ces lignes se fera pendant

l'acquisition forfaitaire présenté en section 6.4.1 de façon à éviter les mobilisations et démobilisations de matériels. La longueur maximale acquise sera de 150km par tranche unitaire de 10km.

L'acquisition se fera dans l'extension de la zone exploratoire et dans la mesure du possible dans les zones identifiées pour l'implantation de futurs projets (carré noir de la Figure 9)

6.5. Lignes sismiques candidates au retraitement et à l'interprétation quantitative (Lot 2 et Lot 3)

6.5.1. Partie forfaitaire

Le tracé des lignes sismiques à retraiter dans la partie forfaitaire du lot 2 est présenté en Figure 9 et la liste des lignes est donnée en Tableau 3.

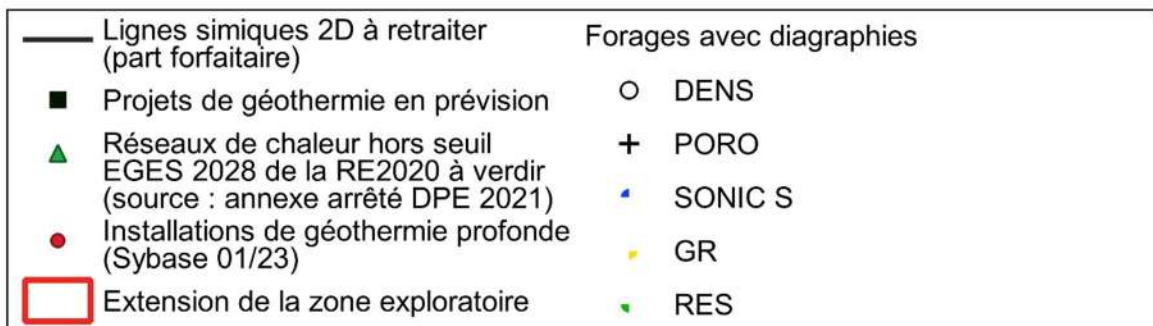
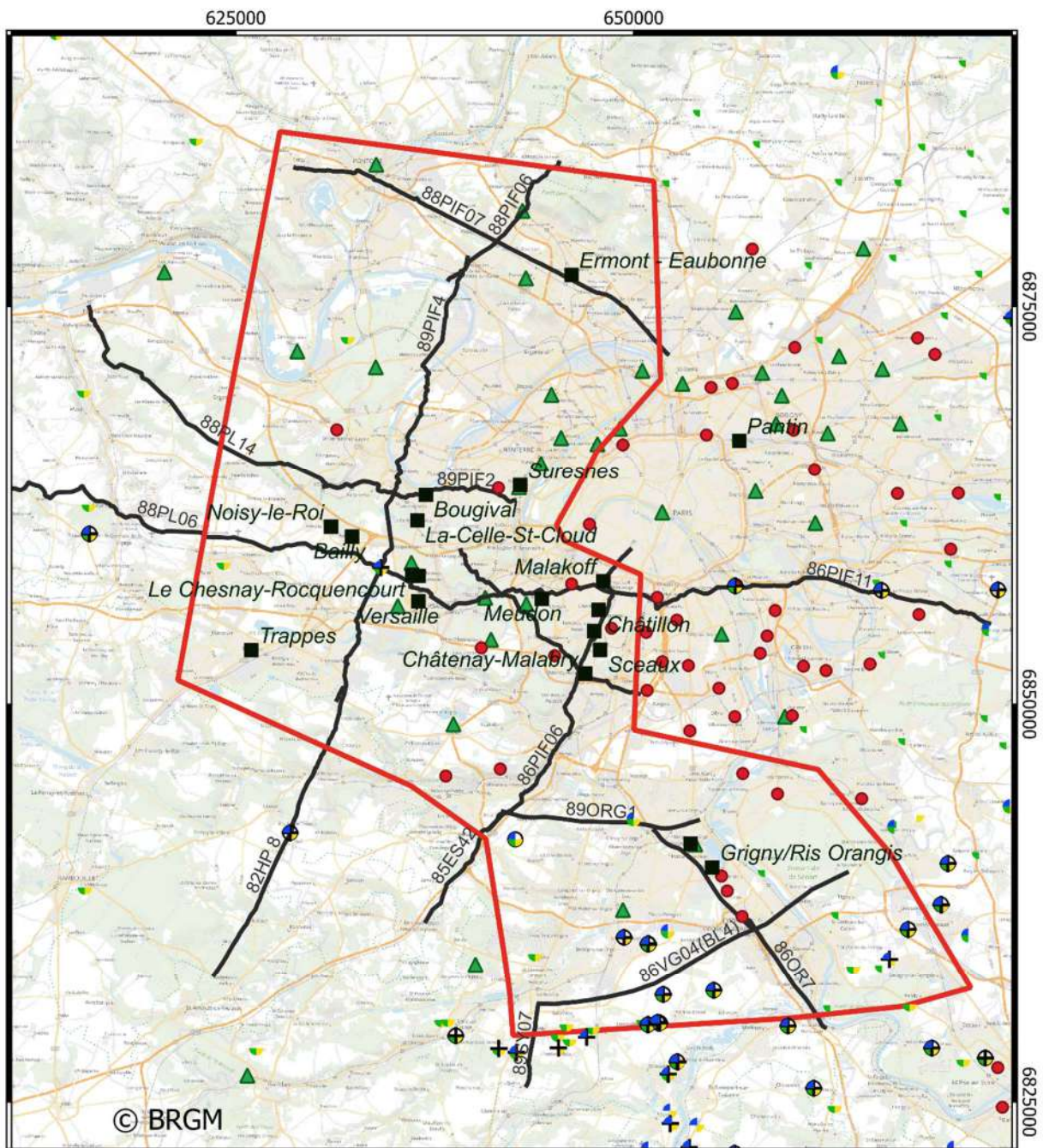


Figure 9 : Lignes sismiques à traiter dans la partie forfaitaire du Lot 2

Tableau 3 : Liste des lignes sismique à retraiter (partie forfaitaire, lot 2, Ouest et Sud parisien)

LIGNE	ETUDE	LONGUEUR	OPERATEUR
82HP 8	HUREPOIX	20.43	SNEA(P)
85ES42	ESSONNE 85	10.15	SNEA(P)
86OR7	ORMOY	8.59	SNEA(P)
86PIF06		21.83	SNEA(P)
86PIF11		38.80	TOTAL
86VG04 (BL4)	VERT LE GRAND	21.43	SNEA(P)
87PIF11		9.40	SNEA(P)
88PL06		23.52	BP
88PL14		21.65	BP
88PIF06		10.82	TOTAL
88PIF07		27.35	TOTAL
89SY07		5.26	PETROREP
89PIF2		13.74	SNEA(P)
89PIF4		32.56	SNEA(P)
89ORG1	ORGE 89	12.42	SNEA(P)
91EVR03		8.64	SNEA(P)
91PIF02		16.37	SNEA(P)

Les VSP à retraiter seront mises à disposition du prestataire par l'ADEME.

6.5.2. Partie unitaire

Les lignes sismiques à retraiter pour la partie unitaire seront choisies par tranche de 100km dans la liste donnée en Tableau 4. Le tracé de ces lignes est donné en Figure 10.

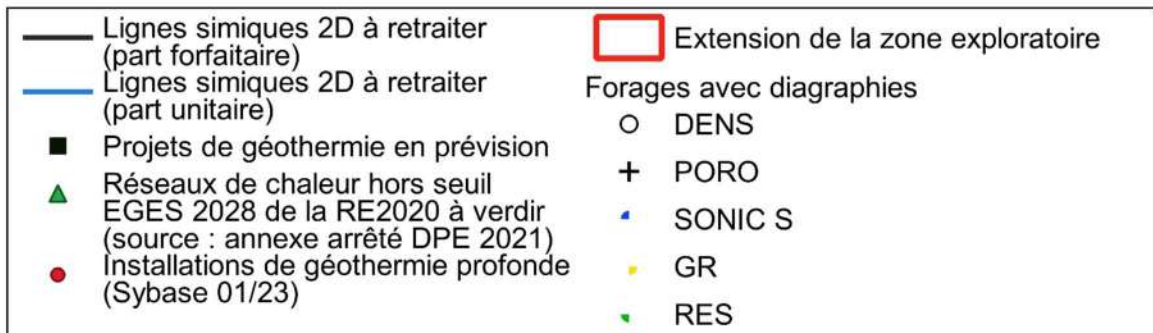
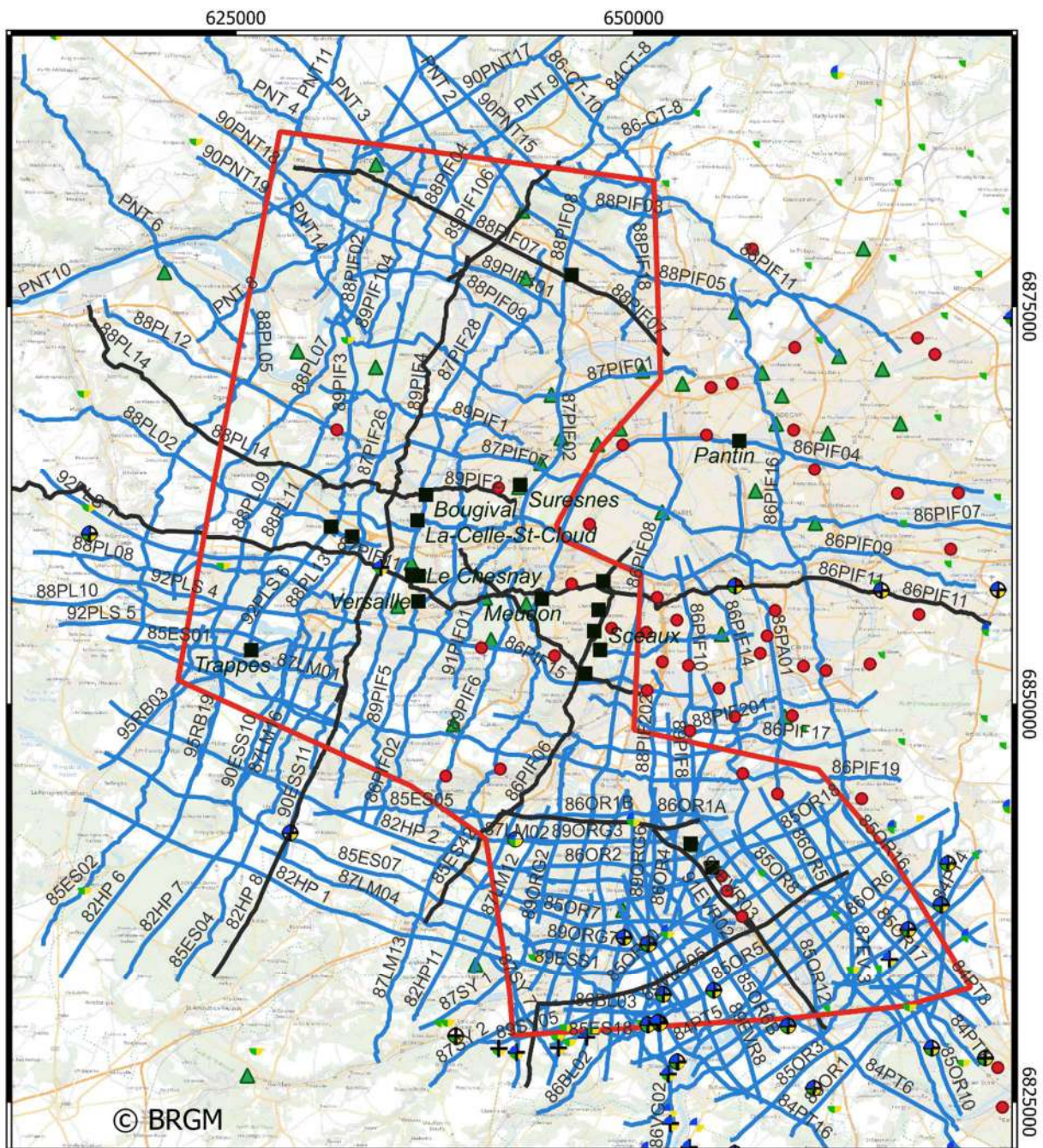


Figure 10 : Lignes sismiques dans la partie unitaire et forfaitaire du retraitement lot 2, Ouest et Sud parisien

Tableau 4 : Lignes sismique à retraiter (partie unitaire lot 2, Ouest et Sud parisien)

LIGNE	ETUDE	LONGUEUR	OPERATEUR
-------	-------	----------	-----------

82HP 1	HUREPOIX	29.4	SNEA(P)
82HP 2	HUREPOIX	30.7	SNEA(P)
82HP 3	HUREPOIX	14.7	SNEA(P)
82HP 6	HUREPOIX	24.5	SNEA(P)
82HP 7	HUREPOIX	24.9	SNEA(P)
82HP 8	HUREPOIX	20.4	SNEA(P)
82HP11	HUREPOIX	15.4	SNEA(P)
84PT16	PONTHIERRY	17.2	SNEA(P)
84PT3	PONTHIERRY	18.2	SNEA(P)
84PT4	PONTHIERRY	23.9	SNEA(P)
84PT5	PONTHIERRY	21.5	SNEA(P)
84PT6	PONTHIERRY	30.0	SNEA(P)
84PT7	PONTHIERRY	21.3	SNEA(P)
84CT-8	CHANTILLY	26.2	SNEA(P)
85OR1	ORMOY 85	14.3	SNEA(P)
85OR10	ORMOY 85	10.0	SNEA(P)
85OR11	ORMOY 85	19.3	SNEA(P)
85OR12	ORMOY 85	18.7	SNEA(P)
85OR14	ORMOY 85	11.9	SNEA(P)
85OR16	ORMOY 85	12.9	SNEA(P)
85OR17	ORMOY 85	19.4	SNEA(P)
85OR18	ORMOY 85	16.6	SNEA(P)
85OR2	ORMOY 85	13.8	SNEA(P)
85OR20	ORMOY 85	11.9	SNEA(P)
85OR21	ORMOY 85	12.6	SNEA(P)
85OR3	ORMOY 85	21.4	SNEA(P)
85OR4	ORMOY 85	22.4	SNEA(P)
85OR5	ORMOY 85	15.2	SNEA(P)
85OR6B	ORMOY 85	10.5	SNEA(P)
85OR7	ORMOY 85	15.2	SNEA(P)
85OR8	ORMOY 85	17.7	SNEA(P)
85OR9	ORMOY 85	31.9	SNEA(P)
85ES01	ESSONNE 85	16.8	SNEA(P)
85ES02	ESSONNE 85	24.6	SNEA(P)
85ES04	ESSONNE 85	27.5	SNEA(P)
85ES05	ESSONNE 85	16.6	SNEA(P)
85ES07	ESSONNE 85	44.0	SNEA(P)
85ES12	ESSONNE 85	8.8	SNEA(P)
85ES18	ESSONNE 85	10.4	SNEA(P)
85ES42	ESSONNE 85	10.1	SNEA(P)
85ES47	ESSONNE 85	11.9	SNEA(P)
85PA01	ESSAIS PARIS	22.5	SNEA(P)
86-CT-10	CHANTILLY 86	11.5	SNEA(P)
86-CT-8	CHANTILLY 86	11.1	SNEA(P)
86OR1A	ORMOY	7.4	SNEA(P)
86OR1B	ORMOY	8.7	SNEA(P)
86OR2	ORMOY	19.0	SNEA(P)

86OR3	ORMOY	7.1	SNEA(P)
86OR4	ORMOY	8.2	SNEA(P)
86OR5	ORMOY	10.5	SNEA(P)
86OR6	ORMOY	12.3	SNEA(P)
86OR7	ORMOY	8.6	SNEA(P)
86PIF02		29.4	SNEA(P)
86PIF06		21.8	SNEA(P)
86PIF07		35.0	SNEA(P)
86PIF08		27.9	SNEA(P)
86PIF10		19.3	SNEA(P)
86PIF14		22.0	SNEA(P)
86PIF15		33.6	SNEA(P)
86PIF17		26.1	SNEA(P)
86PIF19		37.6	SNEA(P)
86PIF04		53.6	TOTAL
86PIF09		46.1	TOTAL
86PIF11		38.8	TOTAL
86PIF16		38.7	TOTAL
86BL02	VERT LE GRAND-...	9.1	SNEA(P)
86BL03	VERT LE GRAND-...	5.8	SNEA(P)
86BL07	VERT LE GRAND-...	6.6	SNEA(P)
86VG02	VERT LE GRAND-...	10.0	SNEA(P)
86VG03	VERT LE GRAND-...	10.3	SNEA(P)
86VG04(BL4)	VERT LE GRAND-...	21.4	SNEA(P)
86VG05(BL5)	VERT LE GRAND-...	9.2	SNEA(P)
87PIF01		27.1	SNEA(P)
87PIF02		9.3	SNEA(P)
87PIF07		15.3	SNEA(P)
87PIF11		9.4	SNEA(P)
87PIF26		24.6	SNEA(P)
87PIF28		34.7	SNEA(P)
87LM01	LIMOURS	7.9	SNEA(P)
87LM02	LIMOURS	7.3	SNEA(P)
87LM04	LIMOURS	17.4	SNEA(P)
87LM12	LIMOURS	11.3	SNEA(P)
87LM13	LIMOURS	19.9	SNEA(P)
87LM16	LIMOURS	9.7	SNEA(P)
87EV 1	CORBEIL	8.2	SNEA(P)
87EV 2	CORBEIL	12.2	SNEA(P)
87EV 3	CORBEIL	12.9	SNEA(P)
87SY 1		8.0	PETROREP
87SY 2		9.7	PETROREP
87SY 7		8.5	PETROREP
PNT 2		15.5	ESSOREP
PNT 3		18.3	ESSOREP
PNT 4		22.0	ESSOREP
PNT 6		25.7	ESSOREP

PNT 8		13.4	ESSOREP
PNT 9		12.6	ESSOREP
PNT10		39.2	ESSOREP
PNT11		16.6	ESSOREP
PNT14		12.2	ESSOREP
88PL02		25.8	BP
88PL05		25.8	BP
88PL06		23.5	BP
88PL07		23.4	BP
88PL08		21.7	BP
88PL09		20.0	BP
88PL10		23.7	BP
88PL11		16.1	BP
88PL12		19.1	BP
88PL13		11.6	BP
88PL14		21.7	BP
88PIF02		14.8	TOTAL
88PIF03		9.6	TOTAL
88PIF04		12.7	TOTAL
88PIF05		32.9	TOTAL
88PIF06		10.8	TOTAL
88PIF07		27.3	TOTAL
88PIF08		14.4	TOTAL
88PIF09		14.3	TOTAL
88PIF11		22.3	TOTAL
88PIF18		14.3	TOTAL
88PIF201		13.1	SNEA(P)
88PIF202		10.3	SNEA(P)
88PIF203		8.7	SNEA(P)
89SY05		5.6	PETROREP
89SY07		5.3	PETROREP
89SY08		5.3	PETROREP
89MHX1	MAROLLES 89	7.1	SNEA(P)
89MHX2	MAROLLES 89	8.0	SNEA(P)
89MHX2	MAROLLES 89	2.0	SNEA(P)
89MHX3	MAROLLES 89	5.9	SNEA(P)
89 ESS 02	ESSONNE 89	3.0	SNEA(P)
89ESS1	ESSONNE 89	11.0	SNEA(P)
89 PIF 09		8.0	SNEA(P)
89PIF1		15.1	SNEA(P)
89PIF2		13.7	SNEA(P)
89PIF3		16.1	SNEA(P)
89PIF4		32.6	SNEA(P)
89PIF5		44.9	SNEA(P)
89PIF6		18.7	SNEA(P)
89PIF7		4.9	SNEA(P)
89PIF8		9.3	SNEA(P)

89PIF9		4.2	SNEA(P)
89ORG1	ORGE 89	12.4	SNEA(P)
89ORG2	ORGE 89	11.2	SNEA(P)
89ORG3	ORGE 89	9.0	SNEA(P)
89 ORG 08		2.4	SNEA(P)
89ESS3/ORG4		18.3	SNEA(P)
89ORG5		9.1	SNEA(P)
89ORG6		8.3	SNEA(P)
89ORG7		8.4	SNEA(P)
89VLG01		8.2	SNEA(P)
89VLG02		8.7	SNEA(P)
89VLG03		7.3	SNEA(P)
89VLG04		7.5	SNEA(P)
89VLG05		5.5	SNEA(P)
89PIF101		16.7	TOTAL
89PIF102		11.3	TOTAL
89PIF104		14.6	TOTAL
89PIF106		9.5	TOTAL
89EVR5		6.0	SNEA(P)
89EVR6		6.3	SNEA(P)
89EVR8		9.6	SNEA(P)
90ESS10		14.3	SNEA(P)
90ESS11		10.9	SNEA(P)
90ESS8		6.1	SNEA(P)
90PT101		7.5	DUCOTECH
90PT104		5.0	DUCOTECH
90PT105		11.2	DUCOTECH
90PNT15		13.0	ESSOREP
90PNT17		17.1	ESSOREP
90PNT18		12.7	ESSOREP
90PNT19		8.3	ESSOREP
90PNT21		8.7	ESSOREP
91EVR01		7.6	SNEA(P)
91EVR02		6.8	SNEA(P)
91EVR03		8.6	SNEA(P)
91EVR04		4.5	SNEA(P)
91PIF01		9.5	SNEA(P)
91PIF02		16.4	SNEA(P)
91PIF04		10.5	SNEA(P)
92PLS 1		19.2	EAP
92PLS 4		11.1	EAP
92PLS 5		13.2	EAP
92PLS 6		9.8	EAP
95RB03		10.7	CANYON
95RB19		8.1	CANYON

7. Annexes Synclinal de l'Arc

7.1. Contexte géologique

Le synclinal de l'Arc est une vaste structure formée lors de l'orogénèse pyrénéo-provençale, reconnue à l'affleurement sur plus de 75 km, depuis les affleurements datant du Jurassique à Pourrières à l'est, jusqu'à l'Etang de Berre à l'ouest. Il est généralement admis que cette structure est interrompue à l'ouest par le système de failles nord-sud de Salon-Cavaillon.

Pourtant, les données gravimétriques révèlent que la structure se poursuit sous la plaine de la Crau. La fermeture occidentale constitue un élément structural dont la caractérisation est primordiale pour contraindre le système hydrogéologique profond du synclinal de l'Arc, cette terminaison occidentale du synforme étant considérée comme l'exutoire du système karstique développé dans les formations carbonatées du Crétacé.

Des contraintes sur la géométrie de la terminaison et sur les unités géologiques en présence seraient un apport majeur pour la compréhension du système hydrogéologique et la reconnaissance de la zone exutoire de l'eau s'écoulant dans le synclinal.

En particulier, il est important de comprendre :

- si les flancs sont redressés ou non
- le rôle de la zone de transfert de l'Arlésienne dans la fracturation, quelles unités ferment le synclinal
- si la présence d'une couverture cénozoïque peu perméable est confirmée ou non
- la nature des terrains recouverts en discordance.

Au nord comme au sud, les limites du synclinal de l'Arc, dans sa partie centrale large d'environ 20 km, sont classiquement fixées aux unités chevauchantes Jurassique à vergence sud au nord (Sainte-Victoire, La Fare, Eguilles, ...), à vergence nord au sud (la Nerthe, l'Etoile et l'Aurélien).

Cette vision classique d'un synclinal à flancs chevauchés reste à valider, les récents travaux de (Bestani, 2015) montrant que le synclinal de l'Arc est compartimenté par la faille d'Aix, avec un flanc court contre la Nerthe dans le compartiment ouest, et un flanc court, dans le compartiment est, contre la Sainte-Victoire qui représenterait une structure mineure en rétro-chevauchement au sein d'une unité chevauchant globalement vers le nord.

C'est pourquoi, une imagerie géophysique au front des unités de la Nerthe et de la Fare-Lançon pourrait amener de nouveaux éléments pour améliorer la connaissance de la structure générale du synclinal de l'Arc et avoir une vision nouvelle de la zone d'alimentation (amont) du système hydrogéologique.

Ce vaste synforme à cœur de Crétacé supérieur continental est affecté à l'est par un accident subméridien, la faille d'Aix, qui constitue un segment de la faille durancienne. Plus à l'ouest, le tracé du système de failles Salon-Cavaillon recoupe le synclinal (masqué sous couverture Miocène et Plio-quatenaire), sans réelle et claire évidence de cinématique et de déplacement (décrochement) le long de cet important élément tectonique. La fracturation associée à ces couloirs de failles, leur enracinement en profondeur pouvant drainer des fluides profonds et chauds. Leur cinématique et leur rôle potentiel dans des phénomènes de sismicité induite ou déclenché sont à définir.

La cuvette synclinale de l'Arc coïncide avec la localisation d'un bassin continental Datant du Crétacé terminal individualisé dès le Crétacé supérieur, appelé Bassin de l'Arc ou Bassin de Fuveau-Gardanne.

Dans cette structure à la fois tectonique et sédimentaire, se sont régulièrement accumulés sur un substratum Jurassique ou Crétacé inférieur, des formations marines du Santonien, puis des dépôts fluvio-lacustres du Campanien, du Maastrichtien et de l'Eocène. La question du substratum des formations continentales du Campano-Maastrichtien revêt une importance toute particulière dans le cadre d'un projet d'exploration géothermique où les principales cibles stratigraphiques sont antérieures (Crétacé inférieur).

En effet, la modélisation géométrique globale du remplissage du synclinal de l'Arc la plus à jour reste celle produite par le BRGM dans le cadre du projet VASCO (Couëffé et al., 2012), sur la base de l'interprétation géologique des lignes sismiques 78G, des limites des unités géologiques fournies par les cartes géologiques et des rares données de forage. Dans le cadre de cette étude, l'interprétation géologique des lignes sismiques a confirmé la géométrie générale du bassin établie par les travaux antérieurs, à savoir une géométrie globale en « éventail » ouvert vers l'ouest et le sud.

Peu de données sont disponibles pour documenter le secteur de l'Etang de Berre. Les quelques forages profonds (500 à plus de 1200m) existants opérés entre l'Etang de Berre et la Fare-les-Oliviers sont des sondages miniers interrompus dans les faciès du Valdo-Fuvélien. N'atteignant pas la base du Crétacé supérieur, ils ne peuvent pas renseigner sur la nature des terrains sous-jacents (probablement néocomiens) cibles géothermiques. Toutefois, les profondeurs atteintes pour reconnaître les faciès du Valdo-Fuvélien attestent de la remontée progressive des horizons du Crétacé à l'approche du front des unités chevauchantes de la Fare-Lançon, sur le flanc nord du synclinal de l'Arc.

7.2. Données de sismique

Les données des profils A1-A14 et B1-B12 acquis en 1965 et 1966 (Figure 11) apportent des informations parcellaires sur la géométrie des grandes formations. Ils révèlent que le flanc sud du synclinal de l'Arc est, dans ce compartiment ouest, moins court et que l'axe du synclinal tend vers l'ouest à s'éloigner des accidents formant le front des unités chevauchantes des massifs de l'Etoile et de la Nerthe.

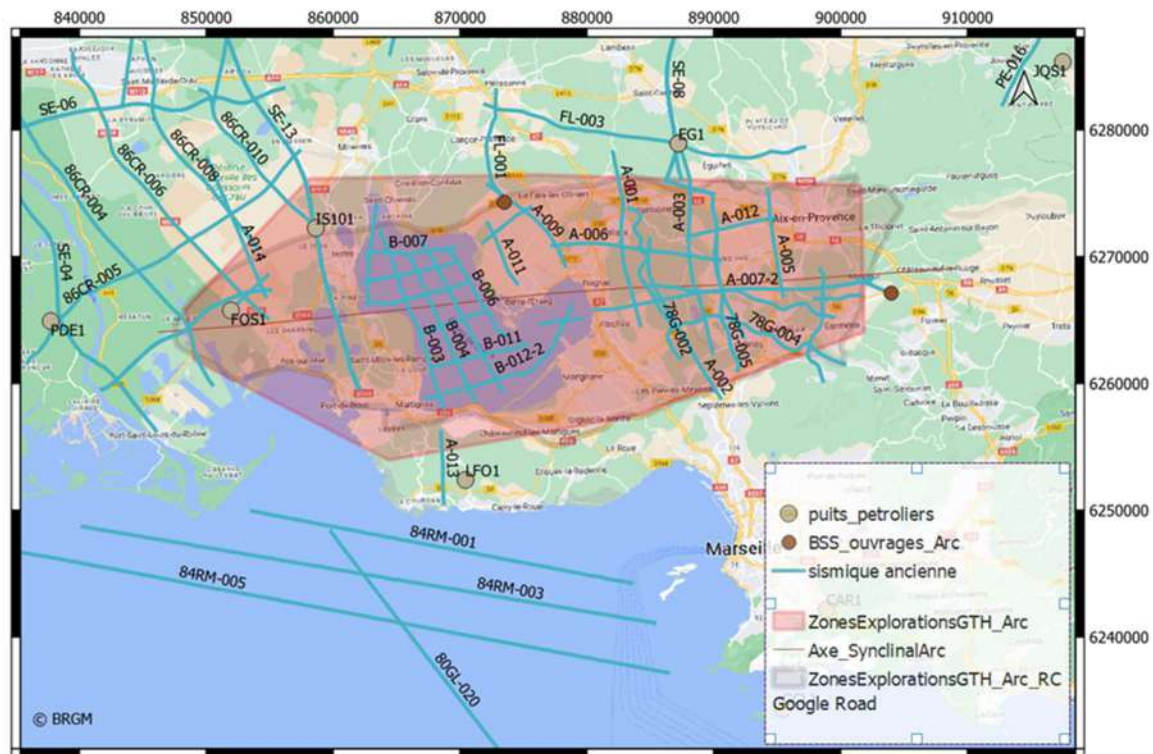


Figure 11: Données disponibles sur la zone d'études

Dans le secteur est du synclinal de l'Arc, les données sismiques disponibles ont été acquises dans le cadre de la campagne Gardanne en 1978 (78G1-78G6) pour le compte des houillères HBCM. En raison de l'urbanisation et du faible intérêt pour les ressources fossiles, les zones du sud de l'Etang de Berre et de Vitrolles, de Marignane et de Marseille nord n'ont pas été couvertes par des lignes sismiques. Les données retraitées et réinterprétées dans le cadre du projet VASCO, permettent d'avoir une information plus précise de la géométrie des principales formations géologiques superficielles dans le secteur est du synclinal de l'Arc. Il reste cependant très difficile de proposer une interprétation plus détaillée en termes de nature de faciès ou d'imager plus finement la géométrie des différents membres à l'intérieur des formations. En effet, la qualité des données sismiques initiales ne permet pas d'accéder à des informations fiables sur les formations profondes comme le Crétacé inférieur.

De cet inventaire, il ressort un manque flagrant de données de sismique réflexion de bonne qualité sur la zone d'étude.

En effet la qualité et la couverture des données ne permettent pas de lever les incertitudes quant à la structure géométrique de la partie ouest du synclinal de l'Arc, et ainsi de valider ou d'infirmer le modèle hydrogéologique jusqu'alors admis. De nombreuses questions restent donc en suspens comme : la limite d'extension des faciès de l'Urgonien sous couverture du Crétacé supérieur, les unités en contact au-dessus de la discordance, l'extension de la couverture Néocomienne du réservoir du Jurassique ou encore la présence de failles mettant en contact l'Urgonien et/ou le Jurassique avec des unités perméables de la couverture du Campano-Maastrichtien. Ceci

empêche une caractérisation de la structure du synclinal dans sa partie ouest et une identification fine des différents faciès dans la partie est.

La campagne d'acquisition du Lot 4 a pour but de combler ce déficit.

7.3. Données de puits

Il existe plusieurs ouvrages sur la zone d'étude qui peuvent apporter des informations pertinentes Tableau 5. En complément de ces ouvrages, des ouvrages miniers présents sur la zone d'étude pourront être utilisés pour l'analyse (e.g. calibration temps/profondeur)

Tableau 5 : Listes des ouvrages disponibles dans la zone d'étude du synclinal de l'Arc

Ouvrages	ID
Meyreuil	BSS002JNFK
Source Calissanne	BSS002JJTJ
	18-1170-
	18-1278
	18-1296
	18-1270
	18-1244
	18-1237
	18-1354
	18-9017
	18-1278
	18-1296
	18-9045
	18-1124
	18-1239
	18-1128

7.4. Tracé proposé pour l'acquisition

L'objectif est d'obtenir une image entre 2 et 3km de profondeur.

L'acquisition proposé se compose de 4 profils est-ouest (AR-EW1 à AR-EW-4), 6 profils nord –sud (AR-NS-01-AR-NS-6) et un profil sur la commune d'Aix en Provence (AR-AX-1) comme indiqué sur la Figure 12.

L'acquisition se fait pour la partie terrestre en zone urbaine sur les routes et en campagnes sur des chemins de terre. Le tracé final sera décidé avec l'adjudicateur lors d'échanges au moment du permitting.

Pour la partie marine, elle se fera dans l'étang de Berre dont la profondeur est de l'ordre de 9m. Il sera important d'assurer la continuité terrestre-marine pour permettre une imagerie correcte des réflecteurs.

La longueur totale des profils prévus est de 298 km. La longueur finale des profils qui seront acquis sera dépendante des paramètres d'acquisitions choisis et du prix au km de l'acquisition sachant que l'objectif est d'acquérir le maximum de nouvelles données.

Les caractéristiques techniques de l'acquisition sont données dans la section 8 pour la partie terrestre et en section 0 pour la partie marine

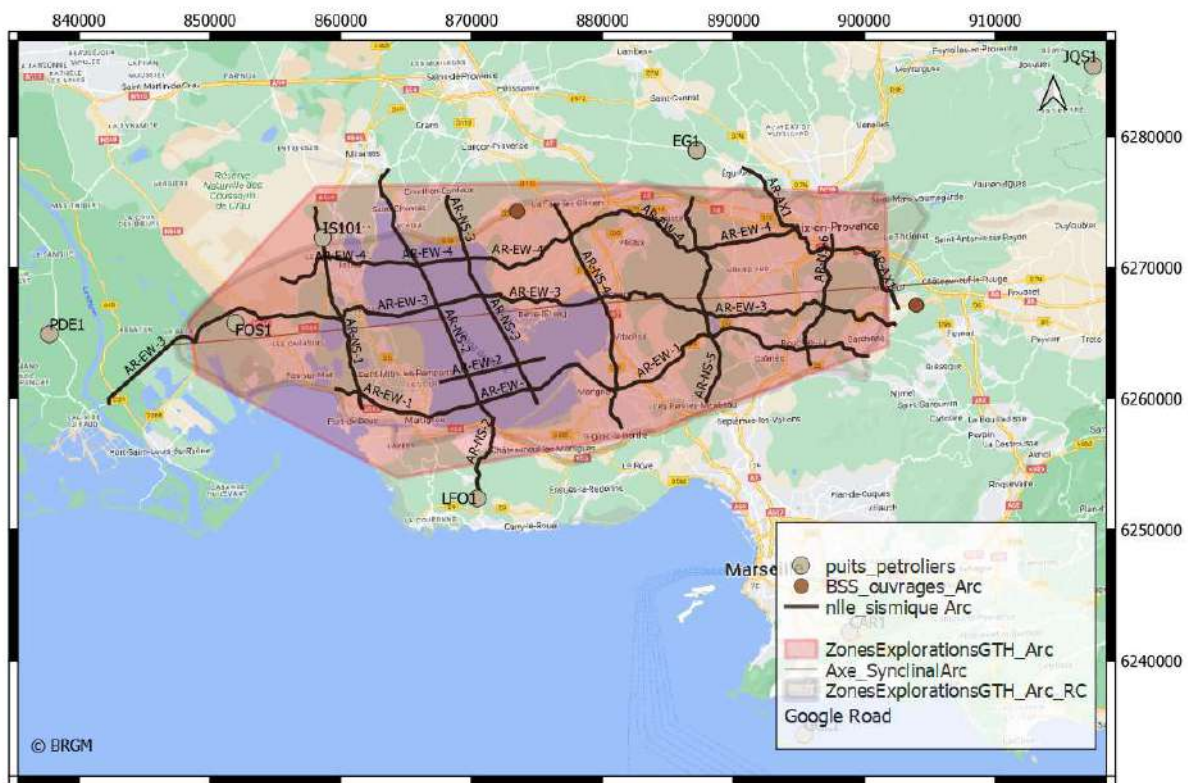


Figure 12 : Tracé des lignes sismiques prévues dans le lot 4

8. Annexe technique acquisition terrestre Lot 1 et Lot 4

8.1. Introduction

Les spécifications techniques décrites dans ce chapitre concernent :

- les mesures topographiques ;
- la définition de la source utilisée ;
- la définition du dispositif d'acquisition ;

8.2. Implantation et caractéristiques des profils

L'implantation prévisionnelle des lignes sismiques pour les Lot 1 (Figure 8 et Figure 9) et Lot 4 (Figure 12) a été réalisée en suivant les routes et chemins. La position définitive des tracés devra être arrêtée en fonction des facilités d'accès. Le demandeur, accompagné du superviseur, effectuera une reconnaissance guidée par l'entrepreneur afin de valider la position du tracé du profil sur le terrain.

Une simulation de couverture et de position des traces, points de tirs et points miroirs devra être fournies par l'entrepreneur, au demandeur et à son superviseur après cette reconnaissance. Des itérations pour le placement optimal des géophones et des sources pour palier l'effet « crooked lines » et permettre une imagerie adéquate seront réalisés.

Le déroulage des traces sismiques sera fait en suivant les routes et les chemins au plus près du tracé théorique.

8.3. Moyens mis en œuvre

Pour l'exécution des opérations citées en objet, l'entrepreneur assurera la mise en place du matériel et du personnel compétent.

8.3.1. Levé topographique

L'équipe topographique assurera la reconnaissance du tracé des profils en coordination avec le permit-man. L'implantation des traces et des sources se fera par chaînage au plus près du tracé défini après reconnaissance. Les points de tir seront positionnés avec une marge de 2 inter-traces de part et d'autre de la ligne de géophones et de 1 trace dans l'axe de la ligne. Les coordonnées x, y et z des traces et des points de tirs seront obtenues par l'utilisation d'un théodolite ou de GPS différentiel en fonction du volume de travail. Les points de contrôle de l'IGN pourront être utilisés. Le système de coordonnées sera Lambert 93.

8.3.2. Source

L'acquisition des données sismiques s'effectuera au moyen de camions vibrateurs uniquement. Les caractéristiques de la source sismique sont présentées dans ce tableau ci-dessous

Tableau 6 : Paramètre de la source

Force demandée	50 000 lbs-100 000lbs en fonction de la zone traversée
VP intervalle	20 à 40 m
Nb vibrateurs /VP	A déterminer lors des tests (max 3)
Drive level	De 50 à 80 %
Borne fréquentielle basse du sweep	De 2 à 5Hz à définir lors des tests
Borne fréquentielle haute du sweep	De 70 à 120 Hz à définir lors des tests
Type de sweep	non-linéaire
Longueur du sweep	30s-60s à valider lors des tests
Acquisition type	Random, Slip sweep,...

Différentes configurations seront testées et devront être chiffrées par le prestataire. Le Tableau 7 montre les différentes configurations d'acquisitions qui seront testées et pour lesquelles un prix devra être donné. La colonne F correspond à une variante qui peut être proposée par le prestataire.

Tableau 7 : Configurations d'acquisition pour lesquelles un coût devra être donné. La colonne F correspond à une variante qui peut être proposée » par le prestataire.

Acquisition terrestre Lot 1 et Lot 4						
Différentes configurations d'acquisition	A	B	C	D	E	F
Minimum de canaux actifs	600	600	600	600	600	
Nombre de vibrateurs/ VP	1	2	1	2	2	
Espacement entre VP	20	20	20	20	40	
Espacement récepteurs en (m)	20	20	20	20	20	
Longueur du sweep (s)	30	30	60	60	60	
Nombre de sweeps	1	1	1	1	1	

8.3.3. Programme d'essai

Un programme d'essais sur un ou deux jours, propre à chaque projet, sera réalisé pour définir les paramètres optimaux de la source vibro-sismique permettant d'atteindre les objectifs assignés. Il s'agira notamment de déterminer expérimentalement les bornes en fréquence du sweep, la longueur du sweep ainsi que le nombre de vibrateurs, Ces tests seront réalisés par le prestataire sous la supervision de l'ADEME. Le programme sera décidé par l'ADEME, mais le prestataire sera aussi sollicité pour être force de proposition. Un lieu calme sera choisi pour minimiser l'impact sur la circulation. Le test se fera au centre d'un dispositif minimal de 6km de longueur. Le lieu sera convenu entre le prestataire et l'ADEME. Un pré-traitement des données sera réalisé par le prestataire pour permettre d'analyser les réflexions enregistrées lors des tests. Les données au format .seg des différents tests seront partagées avec l'ADEME pour analyse.

8.3.4. Récepteur

Le dispositif d'acquisition se fera exclusivement au moyen d'un système « wireless ». Les récepteurs de types MEMS, piézoélectriques, ou les géophones 5Hz seront acceptés.

Le candidat démontrera sa capacité à réaliser une acquisition en milieu urbain et en particulier montrera (photo, brochures, articles etc..) comment les récepteurs sont couplés aux sols durs (béton, bitume, pavé etc..) que l'on peut trouver en zone urbanisée.

Le candidat devra prouver sa capacité à s'assurer que les récepteurs déployés sont actifs et peuvent enregistrer les données chaque jour dans les tolérances requises soit par la capacité à effectuer des contrôles qualités (statut du récepteur, position) en temps réel, soit parce que le fabricant en a fait la démonstration. Le prestataire fournira alors les références techniques concernées.

L'espacement entre les géophones sera de 20m maximum.

8.3.5. Essai des instruments de mesure

Tous les instruments de mesure auront été testés par l'entrepreneur avant l'acquisition des données.

8.3.6. Traitement

Un traitement simple permettant de valider la qualité de la donnée (point de tir, brute stack) sera effectué par le prestataire à la fin de l'acquisition de chaque ligne 2D.

8.3.7. Travail de nuit

Le prestataire indiquera dans sa réponse le coût supplémentaire si l'acquisition devait se faire de nuit pour limiter le bruit ambiant.

8.4. Récapitulatif des paramètres d'acquisition terrestre

Les entreprises sont autorisées à proposer une variante technique (acquisition configuration F du tableau « *configuration_acquisition_terrestre* » annexé) du programme d'acquisition sismique inscrite au présent CCTP. Toutefois, elles devront dans tous les cas satisfaire aux objectifs principaux de la campagne sismique. Les entreprises devront également dans tous les cas remettre une offre sur la solution de base en plus d'une éventuelle solution alternative.

8.4.1. Lot 1

Force demandée	50 000 lbs – 100 000lbs
Distance entre traces	20 m maximum
Distance entre tirs	20-40 m
Offset max (couverture max)	6000 m (minimum)
Longueur d'enregistrement	5 s
Pas d'échantillonnage	2 ms

8.4.2. Lot 4

Distance entre traces	20 m maximum
Distance entre tirs	20 à 40 m
Force demandée	50 000 lbs - 100 000 lbs
Offset max (couverture max)	6000 m (minimum)
Longueur d'enregistrement	5 s
Pas d'échantillonnage	2ms

8.5. Livrables

Le prestataire fournira à la fin de l'acquisition les éléments suivants

Tableau 8 : Livrables du Lot 1 et du Lot 4

Numéro	Livrable	Format
1	Rapports des tests effectués avant le début de la production	.docx
2	Plan d'implantation des profils réalisés (source, récepteurs, CMP)	.shp
3	Données sismiques terrain corrélées et non corrélées	segd
4	Les rapports journaliers de l'observers	.docx et xls si nécessaire
5	Données sismiques terrain corrélées (<i>shot idented</i>) avec application de la géométrie complète, triées en point de tir	segy
6	Rapport de synthèse globale de la campagne.	.docx
7	Fichiers SPS	

Les livrables seront fournis sur support numérique.

Les livrables de la partie marine du lot 4 sont données en 9.5

9. Annexe technique acquisition marine Lot 4

9.1. Introduction

Les spécifications techniques décrites dans ce chapitre concernent :

- les mesures topographiques ;
- la définition de la source utilisée ;
- la définition du dispositif d'acquisition ;

9.2. Implantation et caractéristiques des profils

L'implantation prévisionnelle des lignes de sismique marine pour le Lot 4 se trouve en Figure 12. Les lignes couvrent l'étang de Berre, lagune d'eau douce dont la profondeur varie entre 6m et 9m sur une longueur de 73 km.

Les lignes marines doivent assurer la continuité des lignes tirées à terre. Dès lors, une modification des lignes terrestres pourrait entraîner une modification des lignes marines. Le tracé définitif des lignes marines se fera en accord avec l'ADEME et le prestataire en fonction du tracé terrestre.

9.3. Moyens mis en œuvre

Pour l'exécution des opérations citées en objet, l'entrepreneur assurera la mise en place du matériel et du personnel compétent.

9.3.1. Source

L'acquisition des données sismiques s'effectuera au moyen de canons à air ou autre source permettant d'atteindre les objectifs de la campagne, à savoir une cible à 2-3km de profondeur. La taille exacte et la composition du « gun array » et de sa profondeur sera laissée à l'appréciation du prestataire pour atteindre les objectifs de la campagne et la limite de profondeur de l'étang de Berre (6m-9m).

L'espacement entre les points de tir pourra être réduit par rapport à l'acquisition terrestre pour permettre l'utilisation du principe de réciprocité.

9.3.2. Programme d'essai

Un programme d'essais de la source marine sera effectué pour valider le dispositif de la source et la qualité des données. Un pré-traitement des données sera réalisé par le prestataire pour permettre d'analyser les réflexions enregistrées lors des tests. Un anti-multiple basique pour éliminer les réverbérations du fond de l'eau devra être appliqué. Les données au format .segv des différents tests seront partagées avec l'ADEME pour analyse à la fin du test.

9.3.3. Récepteur

Le dispositif d'acquisition se fera exclusivement au moyen d'un système « wireless » d'hydrophone. Le prestataire pourra proposer une solution de nodes posés au fond du l'étang ou bien d'hydrophones connectés à une unité d'enregistrement indépendante placée sur une bouée.

Le candidat démontrera sa capacité à réaliser ce type d'acquisition marine (photo, brochures, articles etc..) en toute sécurité.

Le candidat devra prouver sa capacité à s'assurer que les récepteurs déployés sont actifs et peuvent enregistrer les données chaque jour dans les tolérances requises.

Il est important que les récepteurs de l'acquisition marine soient actifs lors de l'acquisition terrestre pour permettre une couverture complète de chaque point le long des différents profils.

Le principe de réciprocité pourra être utilisé lors de l'acquisition pour limiter le nombre de récepteur déployé et ainsi limiter la gêne occasionnée pour la navigation maritime.

Le prestataire proposera des solutions adéquates pour réaliser cette acquisition mixte et détaillera le déroulé de l'acquisition.

9.3.4. Essai des instruments de mesure

Les instruments de mesure auront été testés par l'entrepreneur avant l'acquisition.

9.4. Récapitulatif des paramètres d'acquisition marine

Les entreprises sont autorisées à proposer une variante technique des paramètres d'acquisitions du programme d'acquisition sismique décrit dans ce chapitre. Toutefois, elles devront dans tous les cas satisfaire aux objectifs principaux de la campagne sismique. Les entreprises devront également dans tous les cas remettre une offre sur la solution de base en plus d'une éventuelle solution alternative. Elles décriront aussi en détail les différents coûts associés à l'acquisition marine dans le bordereau des prix.

Volume d'acquisition forfaitaire maximum	73 km
Volume de la source	à déterminer par le prestataire
Distance entre traces	40 m
Distance entre tirs	10-20 m
Offset max (couverture max)	6000 m (minimum)
Longueur d'enregistrement	5 s
Pas d'échantillonnage	2 ms

9.5. Livrables

Les livrables spécifiques à la partie marine du lot 4 sont listés dans le Tableau 8 : Livrables du Lot 1 et du Lot 4 tableau ci-dessous.

Tableau 9: Livrables spécifiques à la partie marine du lot 4

Numéro	Livrable	Format
1	Rapports des tests effectués avant le début de la production	.docx
2	Plan d'implantation des profils réalisés (source, récepteurs, CMP)	.shp
3	Données sismiques terrain	segd
4	Les rapports journaliers de l'observers	.docx et xls si nécessaire
5	Données sismiques terrain (<i>shot idented</i>) avec application de la géométrie complète, triées en point de tir	segd
6	Rapport de synthèse globale de la campagne marine (ce rapport peut être intégré à la campagne terrestre).	.docx
7	Fichier navigation P190	

Les livrables seront fournis sur support numérique.

10. Annexe technique traitement des données Lot 2

10.1. Les données brutes

Les données sismiques à traiter sont des lignes sismiques 2D anciennes et nouvelles ainsi que des VSP

10.1.1. Tirs sismiques

Les tirs sismiques bruts sont fournis sur un disque dur sous le format d'origine ou un format SEG Y.

10.1.2. Documents terrain

L'ADEME fournit les documents associés (quand ils sont disponibles) aux tirs sismiques bruts, comprenant principalement les rapports d'enregistrement et les coordonnées terrain, en général sous format image (PDF ou TIF).

10.1.3. Localisation des données

Une liste non-exhaustive des profils sismiques présents dans la zone d'étude ainsi que leurs paramètres d'acquisition est fournie en § 6.5. Dans un premier temps seul une sélection de lignes sera traitée (partie forfaitaire).

10.1.4. Système de coordonnées

Les données brutes sont en Lambert (I) France Nord

Le système de coordonnées en sortie devra être en Lambert 2 Étendu (L2E) et en Lambert 93.

Dans le SEG Y les coordonnées seront

CMP X L2E bytes 105-108

CMP Y L2E bytes 205-208

CMP X (RGF93/L93) bytes 73-76

CMP Y (RGF93/L93) bytes 77-80

10.2. Description du besoin pour le traitement des données de sismique 2D

Les données traitées et imagées seront utilisées pour réaliser une interprétation quantitative et obtenir des informations sur les propriétés petro-physiques des réservoirs. Le prestataire devra traiter les données avant migration en portant attention à l'impact des traitements sur les amplitudes et le contenu fréquentiel des données. Il gardera à l'esprit la finalité des données qui est l'interprétation quantitative et s'appliquera à effectuer un traitement à amplitude préservée des données (true amplitude). La phase d'imagerie des données traitées se fera avec une migration pré-stack 2D en temps (PSTM) ou une migration pré-stack 2D en profondeur (PSDM). Le prestataire proposera des routines de contrôle afin d'assurer la bonne préservation des variations d'amplitudes dû à la géologie. Notamment, il faudra porter une attention particulière, s'il y a lieu, aux variations latérales et verticales des amplitudes sur les images de PSTM ou de PSDM.

Le choix définitif du type de migration sera fonction du prix au kilomètre et des objectifs à imager. Certains profils pourront donc faire l'objet d'une PSDM et d'autres d'une PSTM.

Le traitement sismique sera obligatoirement en amplitudes préservées (True Amplitude)

Le prestataire expliquera en quoi les algorithmes proposés pour suivre la séquence de traitement PSTM ou PSDM préservent les amplitudes.

Datum : Le datum sera placé à +50MSL

10.2.1. Séquence de traitement profils sismiques

Le prestataire est fortement invité à améliorer la séquence de traitement proposée, avec des propositions qui lui sembleraient plus adaptées, pour obtenir des sections sismiques finales où « seules » les variations d'amplitudes sont dues à la géologie. Il pourra expliquer en quoi ses propositions permettront d'atteindre l'objectif demandé. Par exemple, une approche intégrée, basée sur la construction de modèles de vitesse proche surface, peut être une option à la place de l'utilisation de correction statique.

La séquence de traitement des données brutes comprendra au minimum les phases suivantes :

- Reformatage
- Géométrie
- Correction de la divergence sphérique
- Edition
- Atténuation des bruits
- Application des corrections statiques calculées par les différents algorithmes du logiciel du sous-traitant, avec utilisation des informations des upholes si disponible. Rejeu en coupe du modèle de couches appliqué pour le calcul des corrections statiques avec indication des vitesses et courbes des corrections calculées à partir d'autres méthodes
- Stack brut
- Corrections statiques résiduelles manuelles utilisant le stack réfraction en mode point de tir et récepteur
- Stack
- Rephasage minimum phase et déconvolution à surface consistante
- Première analyse de vitesse et mute à 1000 m d'intervalle
- Stack
- Corrections statiques résiduelles moyennes périodes. stacks avant et après application des résiduelles. stacks traces proches, traces lointaines après application des corrections. Cross corrélation stacks proches et stacks lointains (sur 2 fenêtres).
- Stack
- Deuxième analyse de vitesse à 500 m d'intervalle
- Corrections statiques résiduelles haute fréquence
- Troisième analyse de vitesse
- Corrections statiques résiduelles
- Stack réfraction de contrôle
- Stack final

Certaines étapes portant en particulier sur le calcul des corrections statiques résiduelles peuvent nécessiter plusieurs itérations.

10.2.2. Caractéristique de l'ondelette après traitement

Phase : La phase de l'ondelette sera mise à 0

Polarité : La polarité de l'ondelette suivra la convention polarité standard positive de la SEG. Une augmentation de l'impédance (i.e. un coefficient de réflexion positive) est traduite par une valeur positive du signal.

Il est aussi demandé de porter une attention particulière au spectre de fréquence des données et de proposer des filtres permettant de préserver un spectre le plus large possible sans introduire de bruits. Un contenu fréquentiel large est indispensable pour l'interprétation quantitative.

L'utilisation des données VSP traitées permettra de mieux déterminer l'ondelette.

10.2.3. Imagerie sismique temps PSTM

Le prestataire est fortement invité à améliorer la séquence d'imagerie proposée ci-dessous, avec des propositions qui lui sembleraient plus adaptées. Il pourra expliquer en quoi les propositions proposées permettront d'atteindre l'objectif demandé.

La séquence d'imagerie PSTM proposée ci-dessous comprendra au minimum les phases suivantes :

- Migration pré-stack pour analyse préliminaire de vitesse
- Analyse de vitesse à 1000 m d'intervalle
- Migration pré-stack pour analyse finale de vitesse
- Analyse de vitesse à 500m d'intervalle
- Migration pré-stack
- Alignement des gathers après migration
- Mute
- Calcul du facteur Q: Compensation de la dispersion et de l'atténuation
- Stack brut après migration pré-stack
- Déconvolution après stack (si nécessaire)
- Filtrage et égalisation (si nécessaire)
- Obtention de l'image finale

10.2.4. Imagerie sismique profondeur PSDM

Le prestataire est fortement invité à améliorer la séquence d'imagerie proposée ci-dessous, avec des propositions qui lui sembleraient plus adaptées. Il pourra expliquer en quoi les propositions proposées permettront d'atteindre l'objectif demandé.

La séquence d'imagerie PSDM proposée ci-dessous comprendra au minimum les phases suivantes :

- Construction du modèle initial de vitesse à partir des données de puits si disponible et/ou à partir des vitesses obtenues lors des analyses de vitesses précédentes (vitesse de stack)
- Itérations successives de migration et d'analyse de vitesse (migration, pointé RMO, inversion, mise à jour du modèle)
- Prise en compte de l'anisotropie et calage aux puits, si possible
- Migration finale
- Analyse de vitesse résiduelle pour alignement final des gathers (cette étape ne doit être qu'une étape de cosmétique et ne pas se substituer à l'analyse de vitesse à proprement parler)
- Mute
- Stack
- Post stack processing

La compensation de l'atténuation de la dispersion peut être réalisée avant/après le stack ou alors durant la migration. Le prestataire indiquera la méthodologie suivie.

La divergence sphérique sera prise en compte dans l'étape d'imagerie.

Le prestataire s'appliquera à décrire la méthodologie utilisée pour la construction du modèle de vitesse (e.g. tomographie), le nombre d'itérations envisagé et le type d'algorithme.

10.2.5. Contrôle qualité

Le suivi de la qualité du traitement et des étapes d'imagerie se fera au mieux de la liste non-exhaustive des produits de QC suivants :

- Contrôle de la géométrie (dont plan de position des points de tir, des récepteurs, des CMP et du nuage de points)
- Stack brut
- Stack réfraction en mode point de tir et récepteur avant et après corrections statiques résiduelles manuelles
- Stack complet après corrections statiques résiduelles manuelles
- Stack après déconvolution et auto corrélation
- Contrôle de la phase du signal (zéro phase)
- Stack après première analyse de vitesse
- Stacks avant et après application des résiduelles
- Stacks traces proches après application des corrections
- Stacks traces lointaines après application des corrections
- Cross corrélation stacks proches et stacks lointains sur 2 fenêtres
- Stack complet après corrections statiques résiduelles moyennes périodes
- Stack après deuxième analyse de vitesse et corrections statiques résiduelles
- Stack après troisième analyse de vitesse et corrections statiques résiduelles
- Contrôle des itérations de la PSTM/PSDM (CIG, Résiduel Move-out, etc...)
- Contrôle de la phase du signal (zéro phase)
- Altitudes au format tif avec indication des croisements de lignes

Après chaque étape, un spectre du signal pour les différents réflecteurs cibles sera fourni.

Des exemples de récepteurs communs, point de tirs commun ou CMP avant et après les étapes de débruitage et ce, pour différentes bandes de fréquences, seront produits, ainsi que des diagnostics montrant les effets des traitements sur l'amplitude.

Ces documents seront consultables lors des réunions de suivi ou transmis à la demande de l'ADEME au format SEG Y pour la sismique, ascii pour les cartes et autres diagnostics et binaire simple pour le cube de vitesse.

10.2.6. Définitions des erreurs

Seront définis comme erreurs les manquements suivants :

- La non-production des documents de contrôle
- La poursuite du traitement sans validation des étapes
- Les fichiers (SPS ou SEG Y) incomplets ou illisibles
- Les rejeux à mauvaise échelle

Toute erreur fait l'objet d'une réitération du titulaire dans un délai convenu entre l'ADEME et le prestataire.

10.2.7. Livrables

Les produits à livrer sont listés dans le Tableau 10 ci-dessous :

Tableau 10 : Liste des produits à livrer pour le traitement et l'imagerie

Numéro	Libellés	Format	Quantité
1	CMP/CDP Post-Migration au plan de référence final (final datum) (sans NMO, sans Mute) temps/profondeur	SEGY	1
2	CMP/CDP Post-Migration au plan de référence final (final datum) (avec NMO, sans Mute) temps/profondeur	SEGY	1
3	3 angle stacks de la migration pre-stack en temps	SEGY	1
4	3 offset stacks de la migration pre-stack temps : near, middle, far,	SEGY	1
5	Migration pré-stack en temps/profondeur	SEGY	1
6	Migration pré-stack finale avec post-traitement (et avec un "spike" illustrant le floating datum) en temps/profondeur	SEGY	1
7	Modèle de vitesse de la PSTM	SEGY	1
8	Modèle de vitesse de la PSDM (temps/profondeur)	SEGY	1
9	Angle mute en profondeur	Format ASCII	1
10	Stretch mute en temps	Format ASCII	1
11	Mute final en temps	Format ASCII	1
12	Rapport de traitement	.docx/pdf	1
13	Coordonnées des géophones et points de tir (x, y, z) et fichier de géométrie	Fichier texte format SPS	1
14	Tir sismique brut, avec la géométrie (identified shot record) (si non fourni par l' ADEME)	Fichier SEGY	1
15	Les différentes corrections statiques et/ou d'amplitudes (surface consistante) appliquées	Texte	1

Reporting

Le prestataire propose un modèle de compte rendu hebdomadaire (transmis par mail).

Des réunions à chaque étape importante du traitement seront réalisées (Débruitage, statique, analyse de vitesse, migration) pour valider les choix. Le prestataire inclura dans le chronogramme qu'il fournira en réponse à l'appel d'offre les jalons correspondants à ces réunions. Les réunions pourront se faire en présentiel ou à distance.

Modalités de retour des documents après traitement

Après retraitement, les données brutes (documents terrains, cartouches, DVD, disques) sont expédiées en courrier recommandé dans un délai maximum de 1 mois calendaire qui suit l'envoi des produits à livrer, ou bien seront supprimés chez le prestataire à la demande de l'ADEME.

10.3. Description du besoin pour le traitement des VSP

Le traitement des données VSP permettra d'obtenir une mesure de la vitesse verticale le long du puits et ainsi d'établir la relation entre temps et profondeur indispensable au calage en profondeur des données sismiques de surface traitées dans le lot 2. La correction du drift des mesures de sonic ainsi que la création de corridor stack permettront de faire le lien entre sismique de surface et diagraphies. Ces informations seront utilisées par le prestataire pour la calibration

en profondeur des images migrées (PSTM ou PSDM) généré dans la phase de traitements des données de surface.

10.3.1. Séquence de traitement

Le prestataire proposera une séquence de traitement permettant d'obtenir les livrables listés dans la section 10.3.2.

10.3.2. Livrables

Le prestataire fournira pour chaque VSP les livrables suivants :

Numéro	Livrable	Format
1	Relation temps profondeur avec vitesse d'intervalle et vitesse moyenne	xlsx
2	VSP stack et première arrivée pointée	segy
3	VSP zero phase champs P montant (Up P wavefield)	segy
4	VSP zero phase champs P montant corridor stack	segy
5	Diagraphies calibrées (sonic) en temps et en profondeur	las
6	Sismogrammes synthétiques en temps double	segy
7	Rapport	Docx+pdf
8	Présentation	pptx+pdf

11. Annexe technique interprétation quantitative Lot 3

11.1. Données

Les données en entrée de l'interprétation quantitative auront été traitées en suivant un traitement préservant les amplitudes. Deux types de données seront à traiter. Des données anciennes (années 80) et des données modernes. Les données seront au format segy et correspondront aux données traitées dans le lot 2 et le lot 5.

11.2. Description du besoin

Pour le premier projet, l'objectif de ce lot est d'obtenir des profils de porosité, transmissivité, perméabilité, niveau d'argile etc.... à partir des profils sismiques 2D et des données de diagraphies. Ceci sera réalisé pour les différents niveaux réservoir du Bassin parisien à savoir, L'Albien, L'Oxfordien, Le Dogger Le Trias.

Pour le projet du synclinal de l'Arc, il s'agira d'obtenir le maximum d'informations sur les propriétés pétrophysiques du réservoir, et surtout leur variabilité. Les diagraphies disponibles dans la zone n'étant pas nombreuses, des modèles pétro-élastiques dérivés d'analogues pourront être testés.

La méthodologie utilisée pour répondre au besoin sera au choix du prestataire. Les approches d'inversion classiques et celles basées sur les réseaux de neurones (Allo et al., 2021) seront acceptées. Le prestataire devra motiver son choix et faire la démonstration que la méthode choisie est à un niveau de maturité suffisante pour être utilisée en production.

Le prestataire proposera aussi bien une séquence utilisant les données post-stack (inversion acoustique) que les données pre-stack (inversion élastique).

Dans tous les cas la prestation comprendra à minima :

- QC des données d'entrées (les diagraphies nécessaires seront fournies par l'ADEME au format .las)
- La création d'un modèle de physique des roches (modèle pétro élastique) pour les différentes cibles permettant de relier les propriétés élastiques aux propriétés physiques des roches (porosité, N/G...)
- « L'inversion » acoustique ou élastique permettant entre autres d'obtenir les sections en porosité, perméabilité et transmissivité.
- L'analyse des résultats avec les diagnostics tels que synthétique 1D aux puits, analyse des résidus et des calibrations aux puits.

11.3. Reporting

Le prestataire propose un modèle de compte rendu hebdomadaire (transmis par mail).

Des réunions à chaque étape importante du traitement seront réalisées (QC des données, construction du modèle initiale, construction du PEM, etc..) pour valider les choix. Le prestataire inclura dans le chronogramme qu'il fournira en réponse à l'appel d'offre les jalons correspondants à ces réunions. Les réunions pourront se faire en présentiel ou en distanciel.

11.4. Livrables

Le lot 3 couvre les projets de l'Ouest et Sud parisien ainsi que du Synclinal de l'Arc. Les livrables décrits dans le Tableau 11 seront à fournir par projet.

Le rapport, décrira le workflow d'analyse des données en présentant notamment :

- Les modèle de physique des roches utilisés
- Les résultats des calibrations aux puits ;
- L'interprétation quantitative des lignes sismiques existantes sur la zone d'étude ;

Les livrables du lot 3 sont les suivants :

Tableau 11 : Livrables du lot 3

Numéro	Livrable	format
1	Modèle de physique des roches	
2	Sections des différentes propriétés pétrophysiques créées durant le projet (porosité,etc..)	segy
3	Modèle d'impédance initial et issue de l'inversion	segy
4	Interprétation	txt
5	Rapport	docx,pdf

Ces livrables seront fournis sur support numérique

12. Annexe technique traitement des données Lot 5

12.1. Description du besoin

Les caractéristiques du traitement pour le lot 5 sont similaires à celles du lot 2 (section 0) aux éléments suivants :

- Une séquence d'atténuation des multiples du fond de l'eau devra être ajoutée à la séquence de traitement pour les traces ayant leur source et/ou leur récepteur dans l'étang de Berre. Le prestataire détaillera la méthode utilisée.
- La différence de signature des sources et de la réponse instrumentale des capteurs entre la partie marine et terrestre devra être prise en compte correctement pour limiter la transition entre les deux domaines. Le prestataire indiquera comment il prendra en compte ces différences.
- L'imagerie PSDM sera privilégiée au vu de la complexité attendu du milieu. Un effort particulier devra être fait pour imager les pendages élevés (>60deg => distance de migration élevée).

12.2. Livrables

Les livrables sont identiques à ceux indiqués dans la section 10.2.7.

13. Bibliographie

Allo, F., Coulon, J. P., Formento, J. L., Reboul, R., Capar, L., Darnet, M., ... Stopin, A. (2021). Characterization of a carbonate geothermal reservoir using rock-physics-guided deep neural networks. *Leading Edge*, 40(10), 751-758. <https://doi.org/10.1190/tle40100751.1>

Bestani, L. (2015). Géométrie et cinématique de l'avant-pays provençal : Modélisation par coupes équilibrées dans une zone à tectonique polyphasée. *Thèse de doctorat, Aix-Marseille Université*, 246.

Capar, L., Darnet, M., Issautier, B., Marc, S., et Stopin, A. (2021). Valorisation des données de sismique réflexion et de puits, des années 80, pour de l'interprétation quantitative, sur le réservoir géothermique du Dogger dans le Bassin parisien. *Rapport final BRGM/RP-70726-FR*.

Couëffé, R., Badinier, G., Grataloup, I., Martelet, G., Paquet, F., Thinon, I., et Tourlière, I. (2012). Reconstruction géométrique des couches cibles pour le stockage géologique de CO₂ en aquifères salins PROJET VASCO - Phase 5: Stockage en aquifères salins - Tâche 5 . 1 . Reconstruction géométrique des couches cibles pour le stockage géologique de CO₂ e. *Rapport final BRGM/RP-64301-FR*.