



# **Programme de recherche et de travaux**

# 5

# 5.1

## Introduction

Comme exposé précédemment, la géothermie basse énergie s'est considérablement développée dans la région Ile-de-France au cours des dernières décennies. Elle reste balbutiante ailleurs en France.

ENGIE ES est un acteur essentiel pour la diffusion de cette énergie renouvelable, notamment dans le bassin du Hainaut, avec le projet voisin de Renault Douai.

Cette partie vise à renseigner le programme de recherche et de travaux qu'Engie ES entend déployer dans le périmètre sollicité.

# 5.2

## Rappel des objectifs du demandeur

Dans la continuité du projet de Douai, Engie ES ambitionne d'explorer les ressources géothermales présentes dans le Grand Valenciennes, et, en cas de succès de l'exploration, de conduire avec ses partenaires publics, et avec des partenaires industriels restant encore à identifier à ce stade, un ou des projets de développement visant à la construction et l'exploitation de centrales géothermiques pour la production de chaleur renouvelable.

Il s'agit donc de caractériser au mieux les Calcaires du Dinantien dans la zone d'étude, et de dresser une hiérarchie entre les zones les plus favorables. Ceci doit se faire en intégrant progressivement les informations déjà acquises et à venir en provenance du projet de Douai (la réalisation du premier forage doit y débiter à la mi-2024). Il est ainsi prévu de forer et tester le réservoir visé d'ici la fin de l'année 2024. Les données correspondantes devraient être disponibles au moment de l'obtention du permis sollicité, et de démarrer les études et acquisition géophysiques.

# 5.3

## Programme de recherche des études et travaux envisagés dans le cadre de la demande de PER

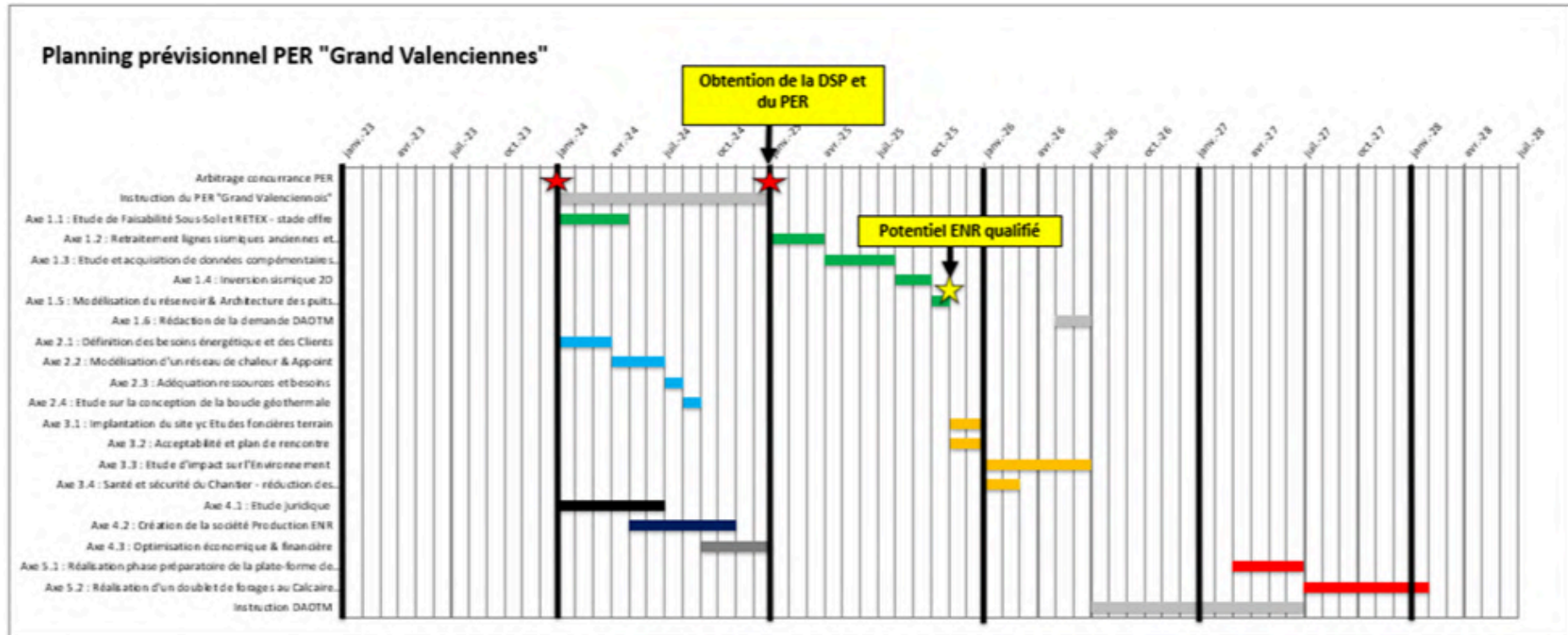
### 5.3.1 Planning prévisionnel

Le calendrier simplifié du projet est présenté sur la Figure suivante.

Le projet est construit selon plusieurs objectifs :

- Des études d'appréciation de la ressource géothermique qui débiteront début 2024 jusqu'à fin 2025 ;
- L'obtention du permis exclusif de recherche pour une durée de 5 ans à partir de début 2025 ;
- Dès le début de l'instruction, les études du sous-sol, de surface seront entreprises pour parfaire la connaissance de la ressource, l'implantation du futur réseau de chaleur et l'élaboration du cadre juridique dans lequel les projets de centrale pourront voir le jour ;
- En cas de validation du projet, une demande d'ouverture de travaux sera déposée dès la mi-2026 (cette date de dépôt sera conditionnée par la nécessité ou non de réaliser une étude faune/flore sur quatre saisons, suivant les contraintes environnementales associées au terrain de forage considéré) ;
- Après délai lié à la procédure administrative, les travaux de plate-forme seront réalisés d'avril 2027 à juillet 2027 ;
- Les travaux de forages seront réalisés de juillet 2027 à février 2028 ;
- Les travaux de construction de la centrale et du réseau de chaleur seront réalisés à la suite des travaux de forage.

Une mise en exploitation de la géothermie est ainsi prévue début 2029, après l'obtention du permis d'exploitation pour une période de 30 ans.



### 5.3.2 Le programme de recherche envisagé pour l'étude du sous-sol (Axe 1)

Le permis exclusif de recherche permettra de débiter un programme d'étude afin d'établir la potentialité d'une exploitation géothermique dans le secteur de Valenciennes et des communes limitrophes.

Le programme d'étude vise à :

- Parfaire les connaissances de l'aquifère cible au droit du secteur d'étude et valider ou non la faisabilité d'un projet d'exploitation géothermique ;
- Définir la coupe géologique du secteur ;
- S'assurer que les besoins en surface sont en adéquation avec la ressource estimée ;
- Réaliser un modèle conceptuel du système géothermal et de sa géologie notamment par les informations tirées des campagnes géophysiques ;
- Affiner la localisation du futur site de forage à partir des données de sous-sol et de surface ;
- Etablir les moyens techniques pour la réalisation des forages, notamment l'architecture des puits ;
- Fournir une estimation juste des coûts d'investissements.

Le programme d'étude et de recherche s'articulera autour de 6 grands axes thématiques :

- Axe n°1.1 : Etude de faisabilité sous-sol et retour d'expérience ;
- Axe n°1.2 : Valoriser des données existantes par le retraitement des lignes sismiques anciennes et leur réinterprétation ;
- Axe n°1.3 : L'étude et l'acquisition de données complémentaires - sismique 2D, Magnétotellurique et forages de gradient ;
- Axe n°1.4 : Inversion sismique et interprétation
- Axe n°1.5 : Réaliser des études de niveau APS pour la réalisation de l'opération (modélisation de réservoir et géochimique, ingénierie de forage) ;
- Axe n°1.6 : Rédaction du dossier de DAOTM et PEX lorsque les solutions techniques, environnementales et juridiques seront finalisées et optimisées avec les besoins évalués en surface.

Le programme comprendra des études internes et externes mais ne prévoit aucun impact significatif sur l'environnement.

Ce programme est établi afin de valider la réalisation du projet géothermique, notamment la validation de plusieurs points techniques qui seront précisés dans les études de niveau APS. **Cette dernière permettant d'engager l'opération et le soutien financier du Fonds Chaleur et l'éligibilité au Fonds de couverture du risque géologique court terme géré par la SAF-Environnement.**

ENGIE ES confiera à un groupement de bureaux d'études spécialisés en géothermie et géosciences, une prestation intégrée compilant l'ensemble des travaux de cette phase (études bibliographiques, retraitement de données anciennes, acquisition, traitement des mesures, modélisation, qualification de la ressource, avis sur la poursuite ou non de l'exploration et proposition de cible(s) de forage).

# 5.4

## Etudes « sous-sol » (Axe 1)

Dans le secteur d'étude, les caractéristiques hydrogéologiques du Carbonifère sont en cours d'appréciation. Un travail de recherche sera effectué et s'appuiera sur plusieurs axes.

Il représente un budget estimé à 1 718 k€ d'études internes et externes.

### 5.4.1 Axe n°1.1 : Etude de faisabilité sous-sol et RETEX

L'objectif de cette partie est de préciser les chances de succès du projet et d'orienter au mieux les cibles au niveau des réservoirs.

A partir de l'analyse des données géologiques et des diagraphies des forages géothermiques et des forages pétroliers situés à proximité, une coupe géologique prévisionnelle sera établie et permettra de mettre en relation les différents étages stratigraphiques d'intérêt. Une compilation des données sera réalisée et des prises de contact avec les universitaires seront établies.

En matière de géologie profonde, le secteur d'étude est peu couvert. Les forages les plus proches sont les forages de Jeumont (JEU1), Epinoy (EPY1) et Condé-sur-Escaut (GCND1) pour ce qui relève des puits profonds.

La connaissance géologique est surtout tirée des travaux d'Aurore Laurent dans sa thèse de 2021 et des informations fournies par les lignes sismiques anciennes et celles à venir.

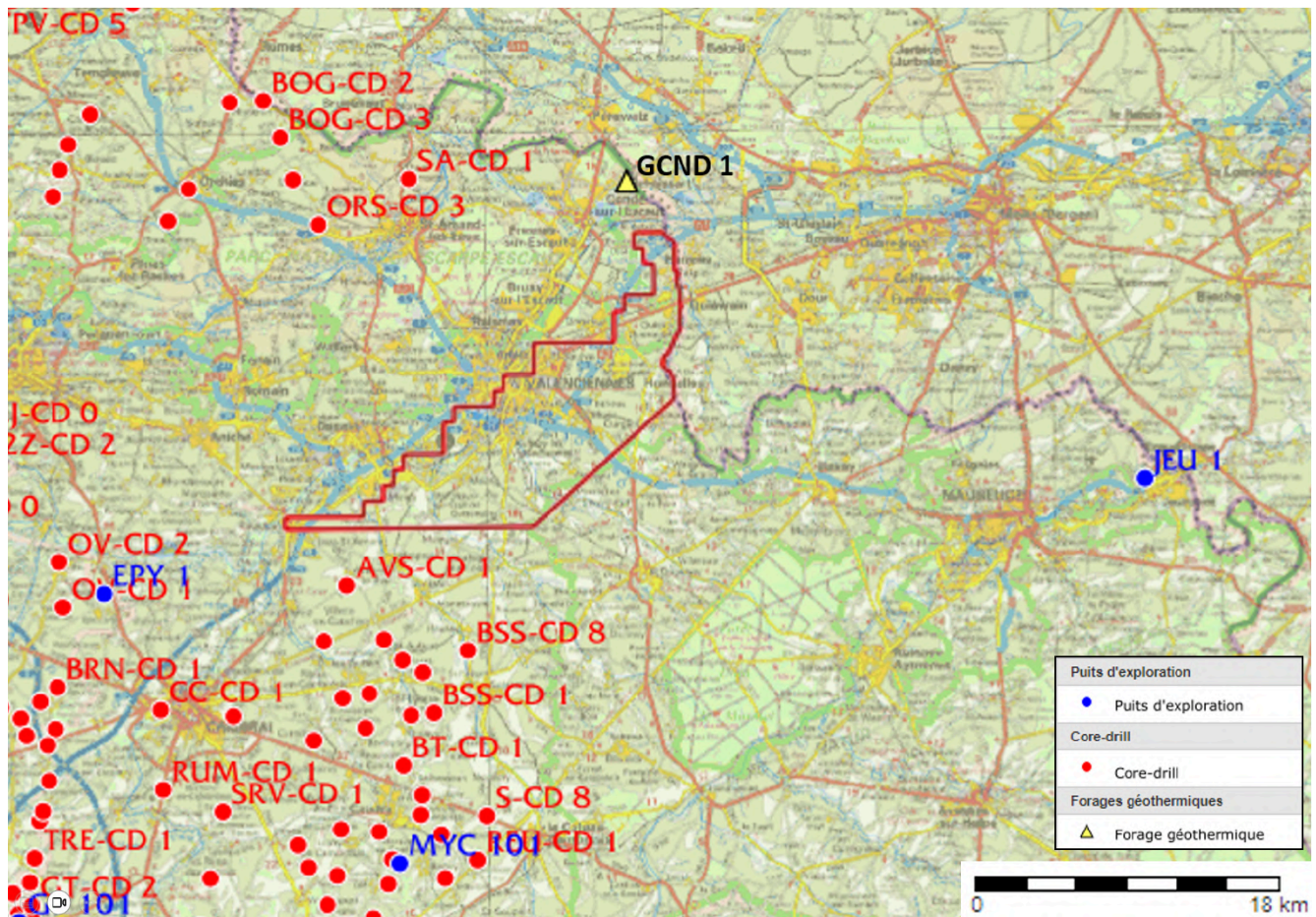


Figure 50 - Extrait de la base de données MINergies

A cette étape, un rapprochement sera opéré aussi avec les acteurs de la géothermie en Belgique (université de Mons / opérateur énergétique), de manière à raisonner sur l'ensemble de l'objet géologique, indépendamment de la présence d'une frontière entre les deux territoires, notamment car des travaux récents ont été menés sur cette partie du bassin, avec acquisition de nouvelles données sismiques et un travail de thèse associé, avec données de puits à l'appui.

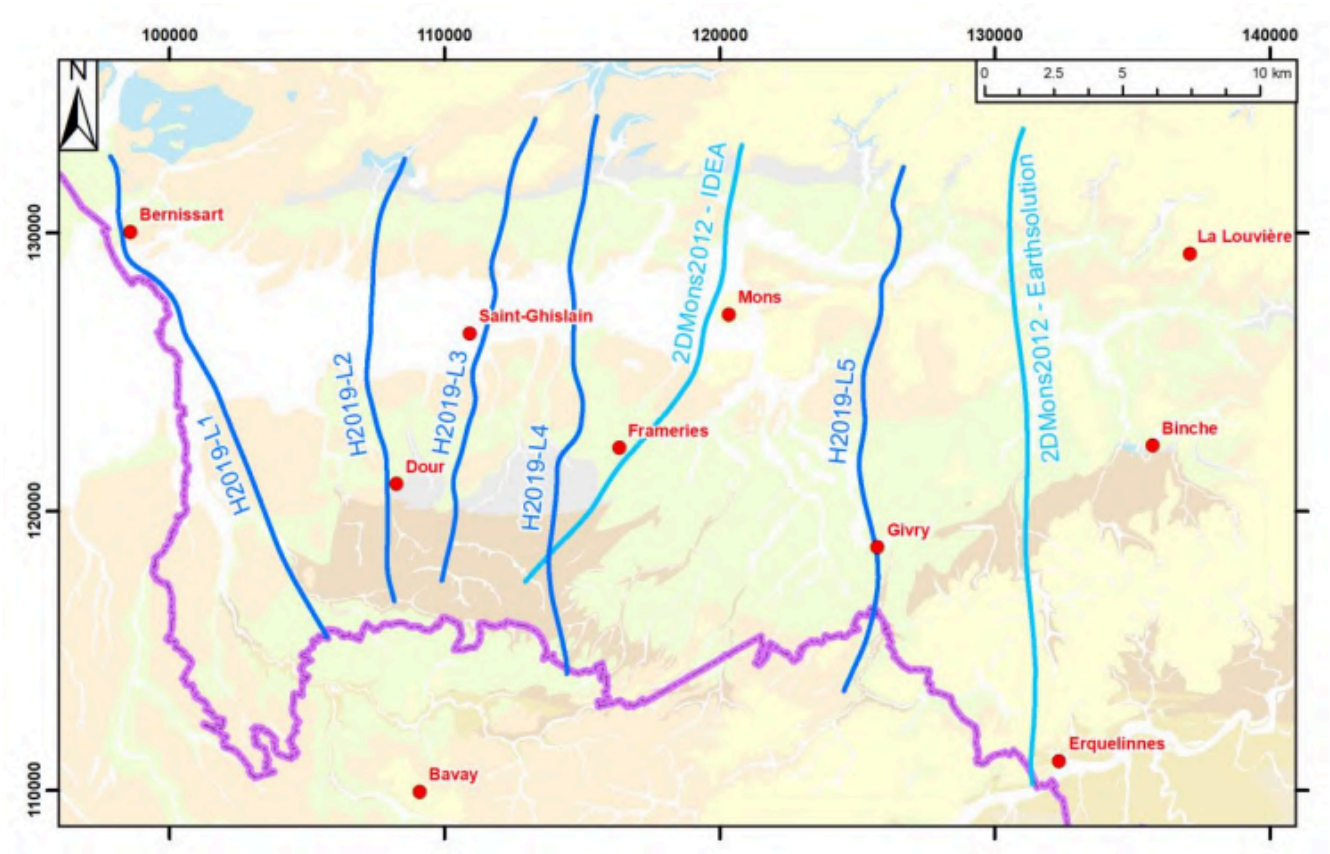


Figure 51 - Lignes sismiques acquises en 2012 et 2019 à proximité de Mons en Belgique (source : Dupont 2021)

#### 5.4.2 Axe n°1.2 : Retraitement des lignes sismiques anciennes et réinterprétation

L'étude des lignes sismiques anciennes a débuté. Elle a permis d'effectuer une première sélection de lignes pertinentes pour apporter un premier éclairage sur le Grand Valenciennes, tout en créant des ponts avec la zone de Douai (qui a fait l'objet d'un travail sismique approfondi) et de Jeumont (où existe un forage de référence).

Il sera également proposé à l'Université de Mons de retraiter une des lignes récemment acquises sur leur territoire (et n'ayant pas bénéficié d'une étape de traitement aussi soignée que celle projetée).

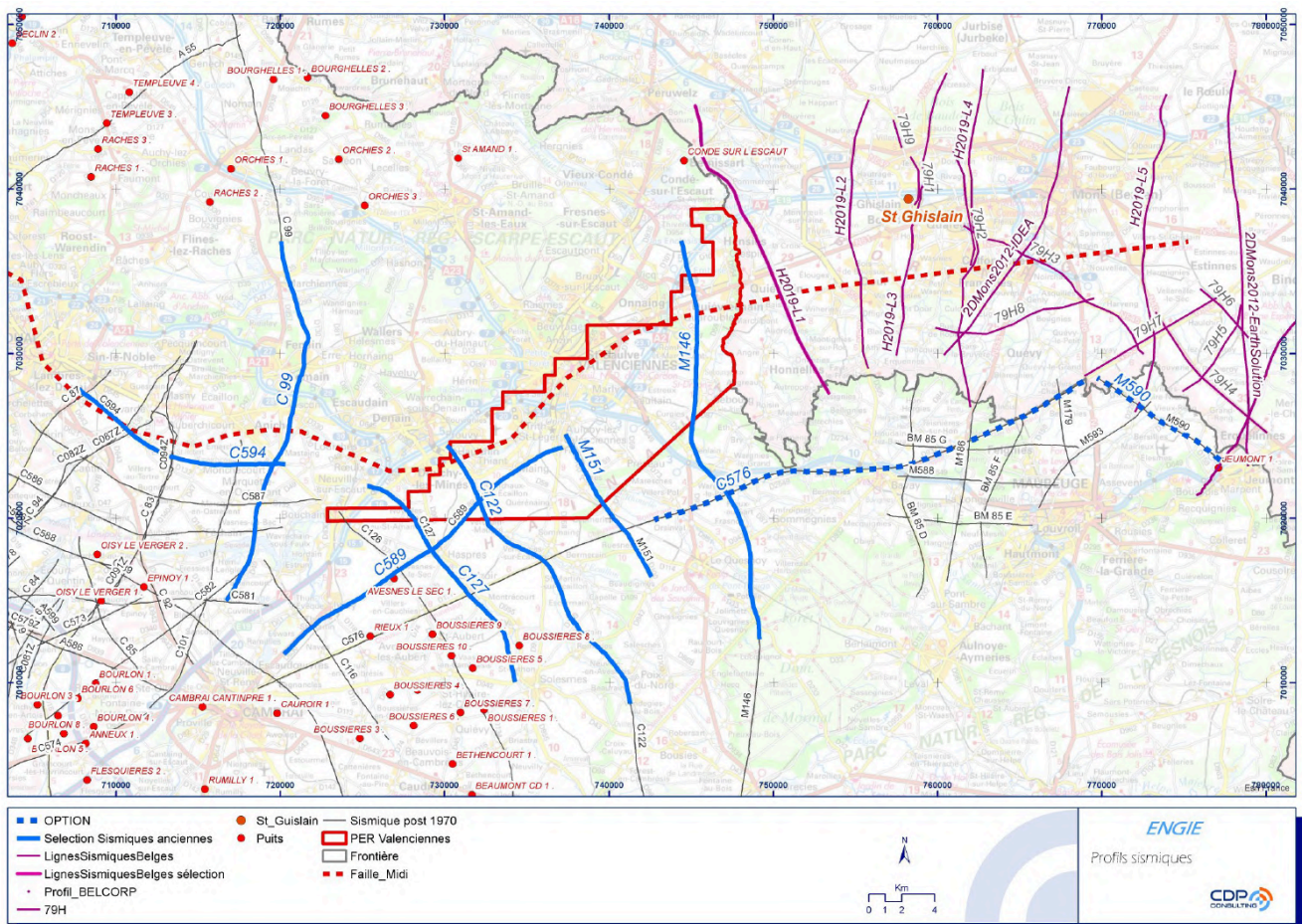


Figure 52 – Lignes sismiques existantes et présélection pour le projet Grand Valenciennes (Source : CDP Consulting)

Le programme de travail associé détaillé en Annexe 12 consistera donc à :

- Déstocker les données correspondantes et contrôler les paramètres d'acquisition,
- Procéder à un traitement des données, et pour cela, construire un modèle de corrections statiques pour les formations tertiaires,
- Interpréter les profils sismiques :
  - En recouvrant les puits pétroliers et géothermiques (intégration des profils de déviation, de la géologie des puits et des diagrapies « sonic » en particulier),
  - En pointant les principaux réflecteurs en temps le long des profils,
  - En pointant les principales failles,
  - En construisant des cartes structurales (réalisation de conversions temps/profondeur),
  - En essayant d'établir des corrélations entre les différents faciès aux puits, et les profils sismiques,
  - En construisant des lignes composites reliant les puits de référence aux zones d'intérêt.

La conclusion de ce travail sur la ressource prendra la forme de nouvelles cartes du secteur, renseignant la profondeur du toit, l'épaisseur des deux horizons visés (Dinantien et Dévonien), et permettra de construire un premier schéma structural.

Pour autant, comme l'illustre la Figure 52, le périmètre étudié n'est que partiellement couvert par les lignes sismiques existantes, et des compléments devront être apportés à travers une acquisition sismique complémentaire.

## 5.4.3 Axe n°1.3 : L'étude et l'acquisition de données complémentaires – sismique 2D, magnétotellurique et forages de gradient

### Acquisition et interprétation de données sismiques complémentaires

Pour combler les manques soulignés au paragraphe précédent, une acquisition de données sismiques complémentaires est d'ores-et-déjà prévue. Elle vise à compléter la couverture du territoire du « Grand Valenciennes », et à permettre un raccordement direct à la zone investiguée au niveau de Douai, et au forage de Condé-sur-l'Escaut. Il est en effet capital de pouvoir contraindre l'interprétation de la sismique par des informations au puits. Il est rappelé que les résultats du premier forage géothermique de Douai devraient être disponibles quand ces travaux géophysiques démarreront.

La méthodologie pour l'étude de design correspondante est détaillée également en **Annexe 12**.

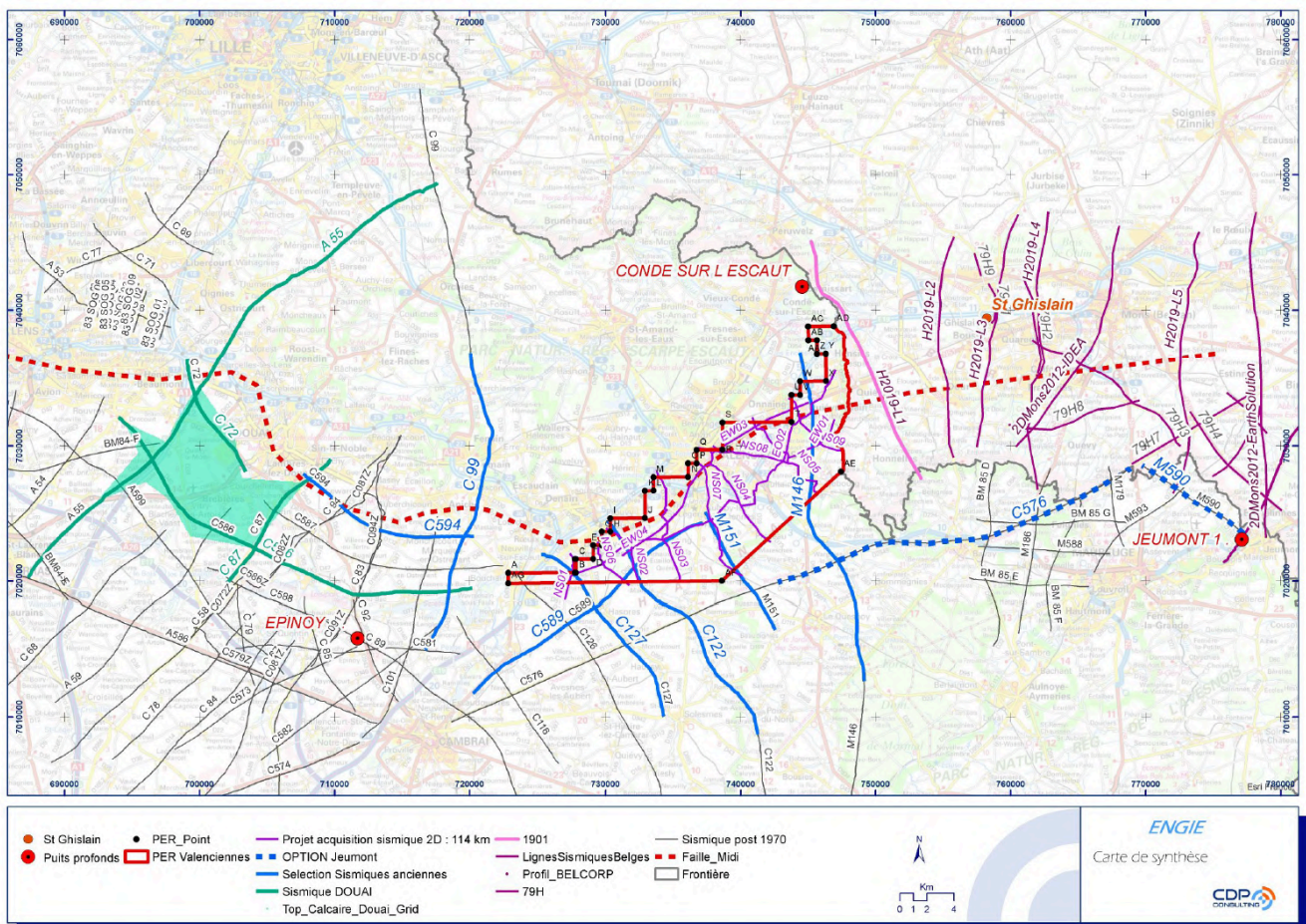


Figure 53 - Acquisition sismique complémentaire prévue

La partie sud du périmètre, a priori plus favorable en matière de température, et non pénalisée par de possibles vides miniers fait l'objet d'une acquisition renforcée.

Finalement, le travail sur le périmètre du PER Grand Valenciennes sera donc inscrit dans une perspective et une compréhension plus large du bassin, sur l'ensemble de l'arc entre Mons et Douai.

A l'issue des travaux sur le PER, une étape supplémentaire de sismique 2,5 D, ciblée sur la ou les zones de projet sélectionnées pourra être déployée. Il s'agira d'accéder à un niveau d'information plus fin de manière à contraindre l'orientation à donner au forage, et les cibles à viser.

Ce travail sur la sismique a aussi pour but de construire le schéma structural le plus précis possible en vue d'appréhender au mieux le risque sismique en lien avec tout projet de géothermie.

## Magnétotellurique

La magnétotellurique utilisée pour Douai a donné des résultats tout à fait significatifs :

- La pertinence de cette méthode a pu être testée au niveau du puits de Jeumont : les résultats obtenus sont pleinement en accord avec les mesures de résistivité au puits, à environ 4000 m de profondeur dans le Dinantien.
- Au niveau de Douai, elle tend à montrer un réservoir relativement poreux, contenant une eau de faible résistivité (faible minéralisation), comparable à celle observée dans le Dinantien à Jeumont, Mons, Condé-sur-l'Escaut, ou encore Saint-Amand-les-Eaux.

C'est pourquoi il est prévu de déployer aussi cette méthode pour le Grand Valenciennes. Il s'agira d'effectuer plusieurs sondages magnétotelluriques dans le périmètre, répartis sur toute la surface, et potentiellement densifiés dans les secteurs pressentis pour accueillir des opérations de géothermie.

Comme pour la sismique, les zones projet pourront bénéficier d'un éclairage complémentaire afin d'aboutir à une donnée plus discriminante spatialement, de nature à diriger les forages vers des cibles a priori meilleures (dans ce type d'aquifère karstique, le réservoir peut présenter de très larges hétérogénéités). Une seconde série d'acquisition serait ainsi déclenchée. Potentiellement, une source active pourra être mobilisée (CSEM : Controlled Source Electromagnetics) ce qui semble possible contrairement à Douai compte tenu de la moindre profondeur de la cible.

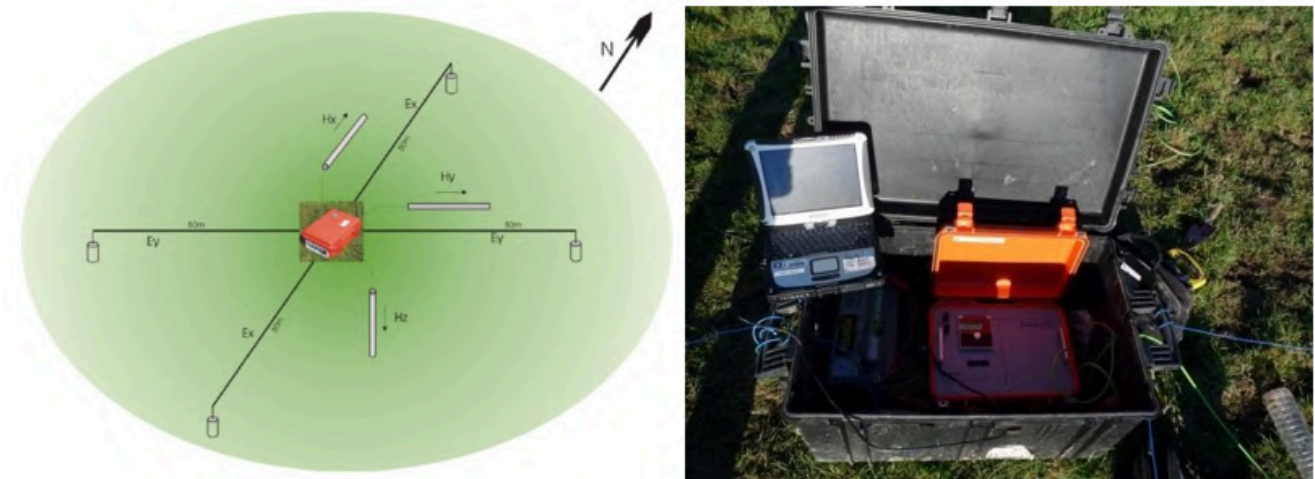


Figure 54 - Vue d'une centrale d'acquisition MT (source : BRGM)

## Forages de gradient

Comme déjà souligné, le Dinantien se singularise par des anomalies de température positives et négatives. Un des enjeux forts du projet est d'essayer d'anticiper ces anomalies avant l'étape coûteuse du forage.

La déconvenue de Condé-sur-l'Escaut a parfois été mise sur le compte de la présence de puits naturels à proximité, qui seraient à l'origine de circulations rapides entre la surface et le Dinantien.

Comme en témoigne la figure suivante, il y a effectivement beaucoup de puits naturels autour du forage de Condé-sur-l'Escaut, mais ils sont également nombreux autour des forages géothermiques de Mons en Belgique où l'on note à la fois des anomalies positives (Ghlin, Douvrain - G et D) et négatives (Saint-Ghislain - SG) (Figure 55).

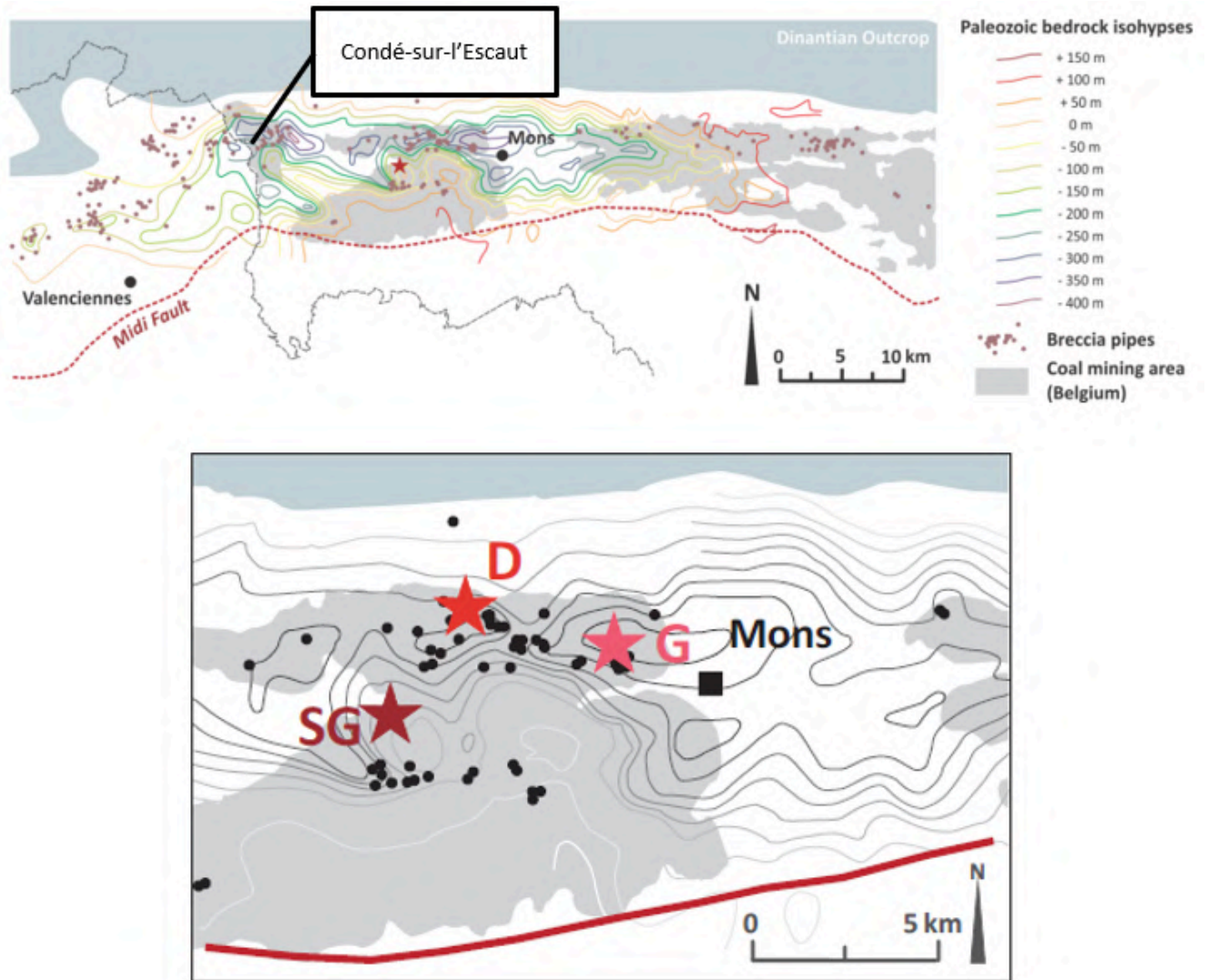


Figure 55 - Puits naturels (breccia pipes) et zoom sur la région de Mons, d'après Licour 2014)

Le fait qu'il y ait peu ou pas de puits naturel au niveau du « Grand Valenciennes » ne permet donc pas de conclure sur le gradient de température qui pourra être observé.

C'est pourquoi il est prévu de réaliser 5 forages de gradient de 200 m de profondeur, sur le modèle de ce qui a pu être réalisés récemment en Alsace (Maurer 2018) (Figure 56).

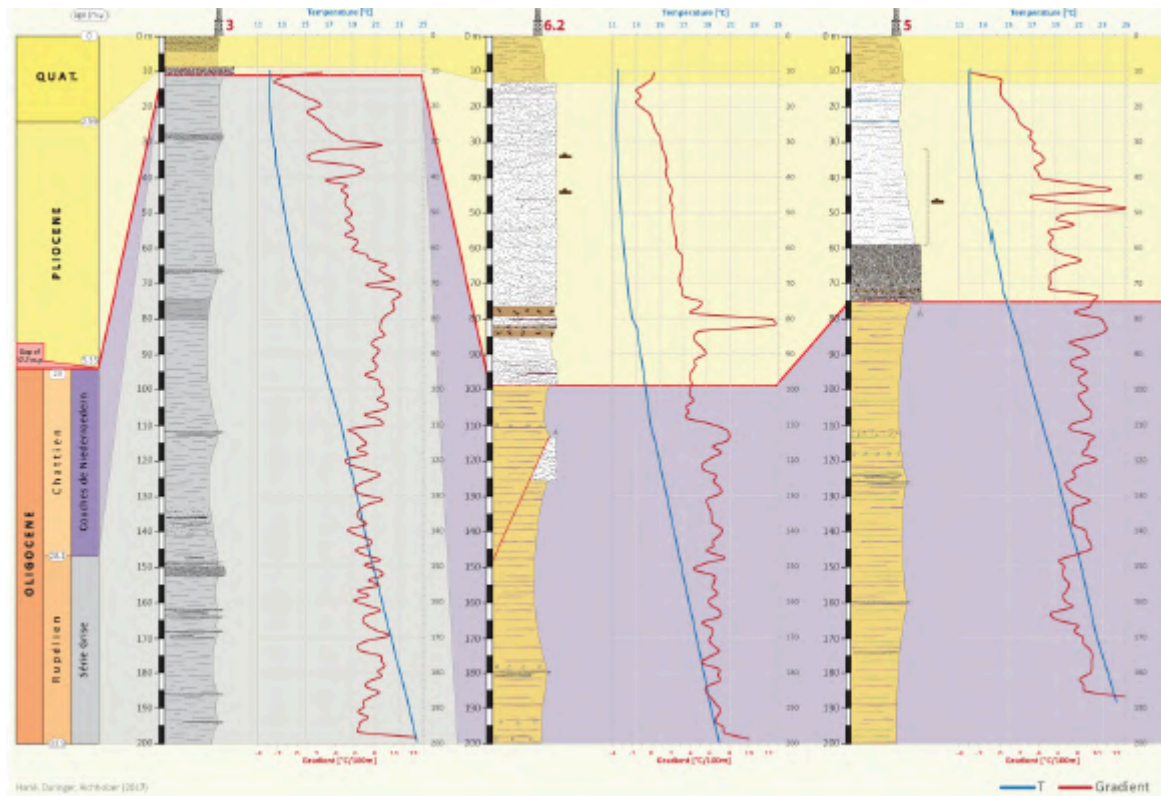


Figure 56 - Exemples de forages de gradient réalisés en Alsace (d'après Maurer 2018)

Cela consiste concrètement à réaliser une sonde géothermique de 200 m de profondeur, dans laquelle une mesure de température est réalisée sur toute la hauteur. Les 5 points prévus seront distribués dans le périmètre de recherche, avec vraisemblablement un point près du forage de Condé-sur-l'Escaut afin de calibrer la méthode.

Dans la mesure du possible, ces sondes géothermiques seront réalisées à côté de bâtiments qui pourraient être alimentés par une installation de géothermie assistée par pompe à chaleur. Ainsi ces sondes géothermiques seraient-elles doublement valorisées.

La figure suivante illustre une tentative régionale du BRGM d'exploiter ce type de résultat, et tend à démontrer la bonne sensibilité de la méthode.

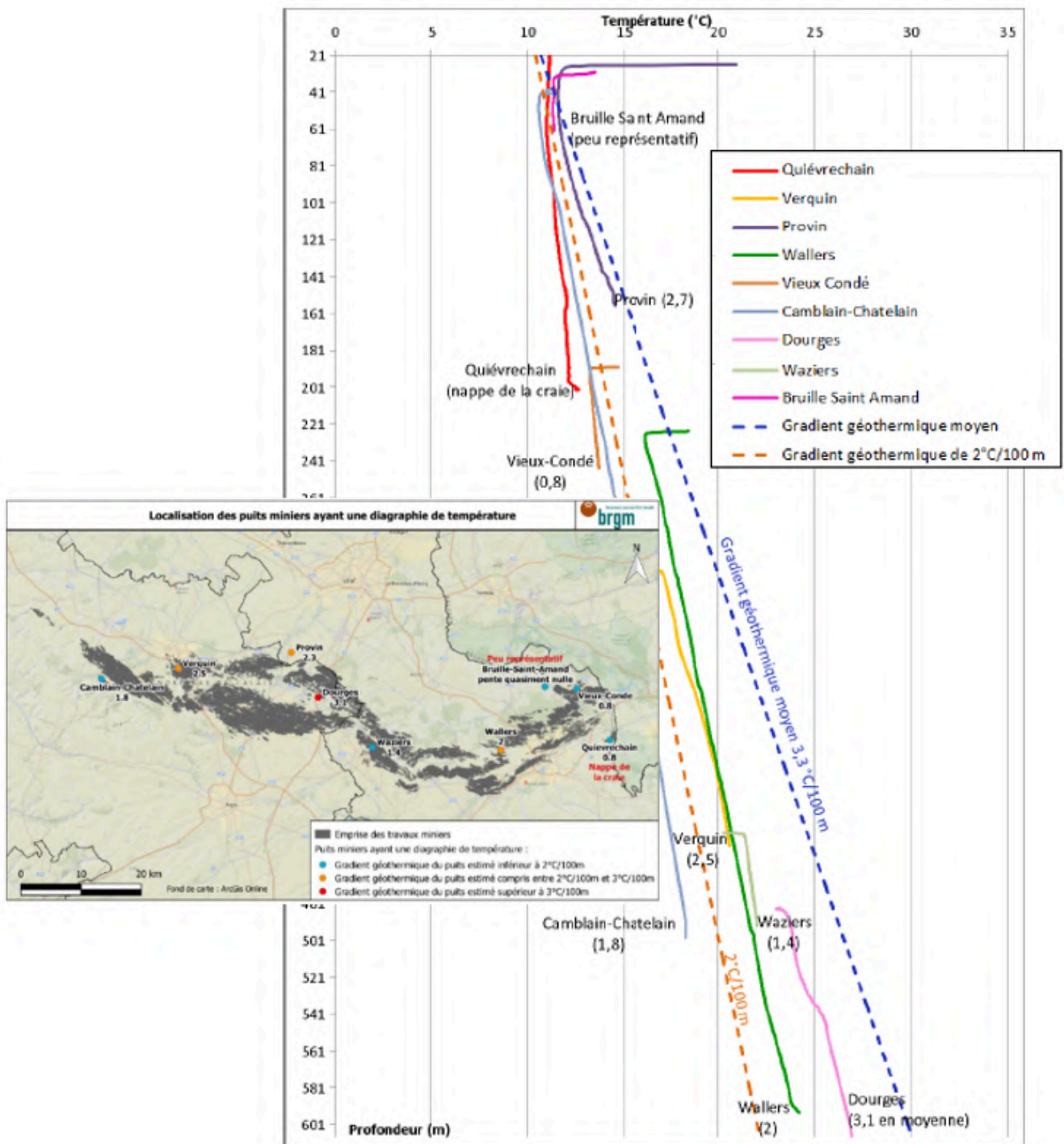


Figure 57 - Gradients géothermiques régionaux à partir de puits minier, d'après BRGM RC-66778-FR

### 5.4.4 Axe n°1.4 : Inversion sismique 2D et interprétation

Le fait d'associer des données au puits au travail sur les données sismiques (cf. paragraphe 1.4.3) rend possible une approche d'inversion sismique 2D. Ceci consiste à déduire des amplitudes sismiques enregistrées, les propriétés élastiques du sous-sol (par inversion sismique), puis à établir des relations statistiques entre les propriétés élastiques et les propriétés de la roche à partir des informations de puits. In fine, cette approche permet de déduire de la sismique, des propriétés pétrologiques (Figure 58).

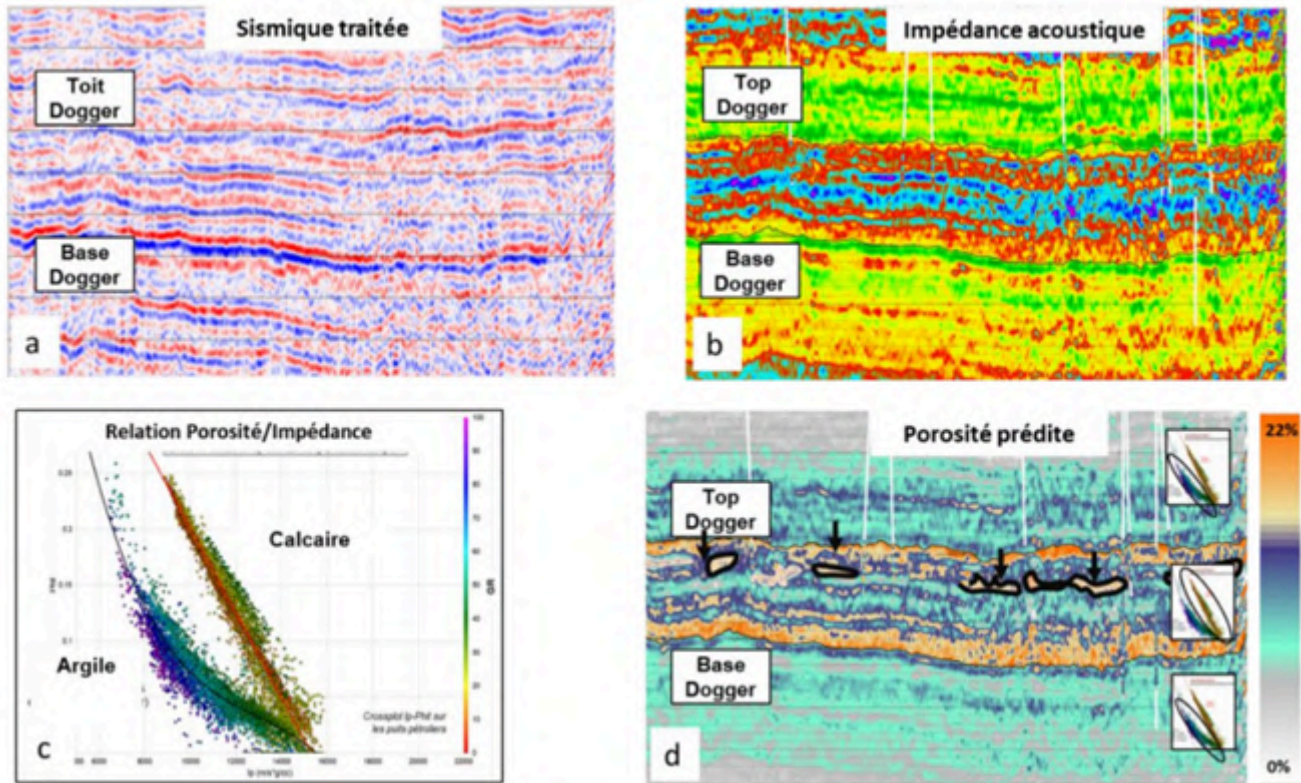


Figure 58 - Illustration de la démarche d'inversion sismique sur l'aquifère du Dogger (d'après Darnet 2022)

### 5.4.5 Axe n°1.5 : Modélisation du réservoir cible et ingénierie de forage (étude APS)

A partir des informations déduites des étapes de géophysique, un modèle conceptuel du réservoir sera construit, pour être implémenté dans le modèle de calcul MARTHE, développé au sein du groupe BRGM.

Élaboré en 1980 et régulièrement développé depuis cette époque pour répondre aux évolutions des standards informatiques et pour intégrer de nouvelles fonctionnalités en hydrodynamique et en transport, ce code de modélisation est dédié spécifiquement à la simulation des ressources souterraines (évaluation et gestion des ressources aquifères, impact de prélèvements et d'aménagements) et des transferts d'éléments dissous (éléments chimiques, éléments radioactifs, biseaux salés, transferts thermiques).

Il s'agit d'un code de calcul en différences finies, utilisant un maillage de type « écossais » (colonnes et lignes de largeurs variables), monocouche (en plan ou en coupe verticale), multicouche ou 3D, avec possibilité de sous-maillages gigognes pour une représentation précise des géométries, simulant l'hydrodynamique et le transport hydrodispersif et thermique en régime permanent et en régime transitoire.

L'objectif de la modélisation est de valider l'espacement entre les points d'impacts des puits pour satisfaire des variations hydrauliques et thermiques nécessaire à l'exploitation du gîte géothermique sur 30 ans et limiter les impacts sur les exploitations environnantes. Ces travaux de modélisation permettent surtout de construire une architecture puits adaptée, et donc d'évaluer les coûts précis de l'opération.

Ces modélisations veilleront à garantir au maximum la pérennité de l'installation et à limiter les interférences hydrauliques des futurs doublets entre eux dans le cas où plusieurs doublets seraient forés.

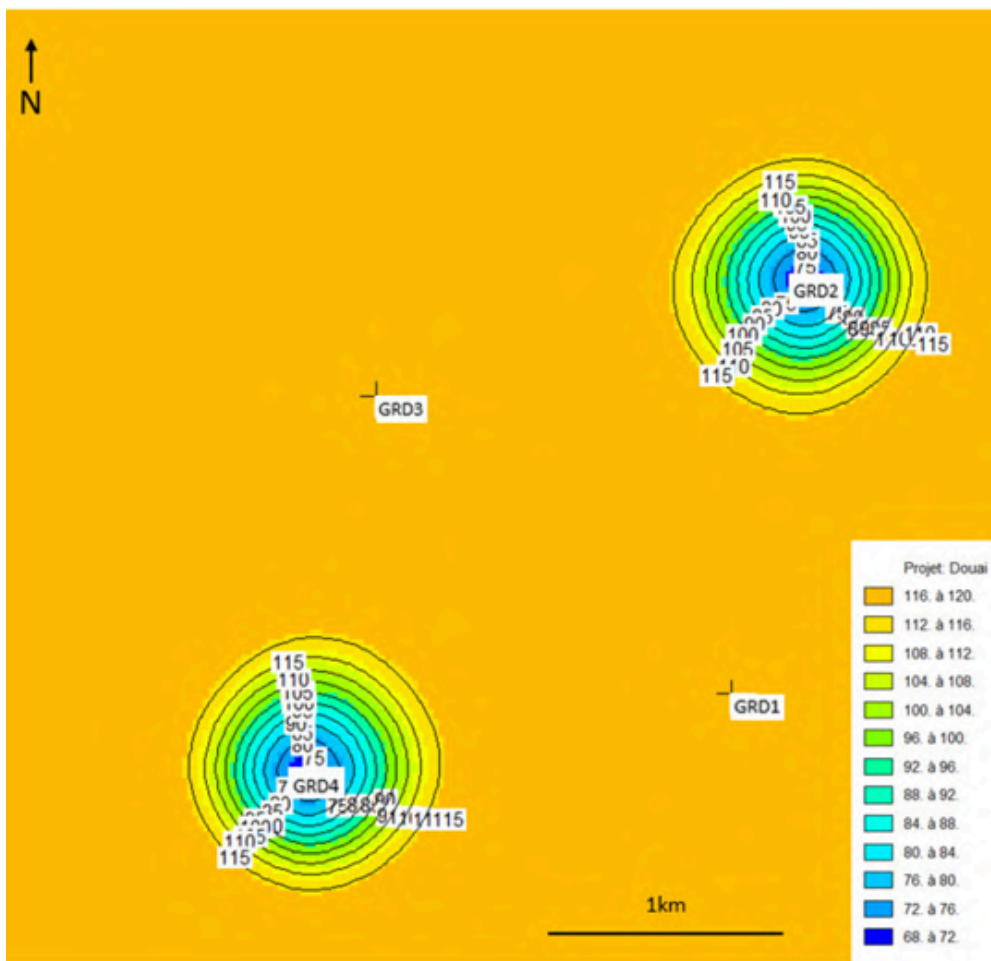


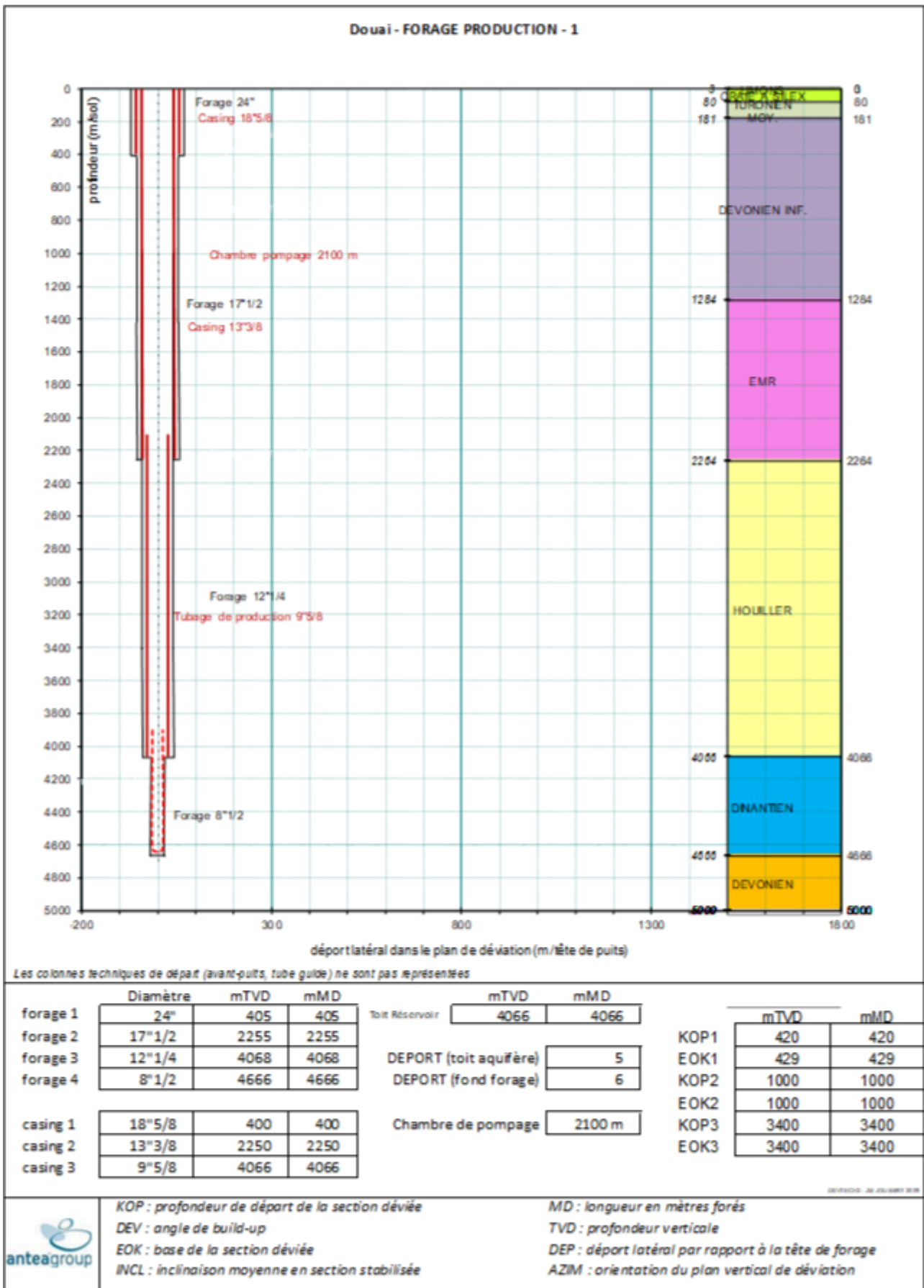
Figure 59 - Exemple de résultats de modélisations numériques de réservoir sur le projet géothermique de Douai

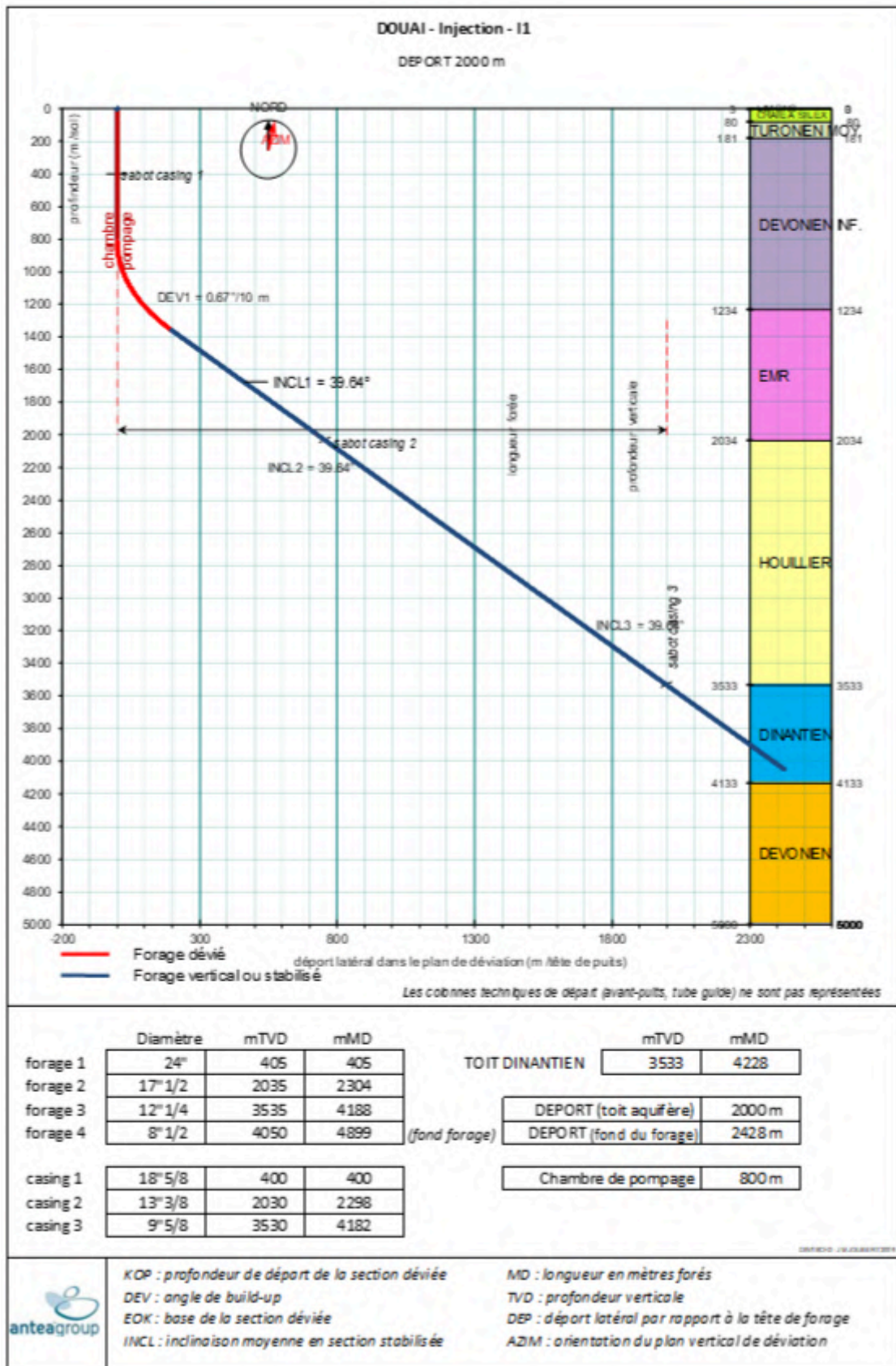
En fonction des caractéristiques hydrodynamiques prévisionnelles du réservoir et des besoins en surface, l'architecture des puits sera étudiée.

Plusieurs solutions techniques d'architecture et de complétion classiques ou innovantes seront analysées pour répondre aux contraintes géologiques du réservoir. Les exemples du projet de Douai sont présentés dans les figures ci-dessous, la même stratégie est envisagée dans le cadre du projet du « Grand Valenciennes », un forage vertical et un forage dévié.

Le retour d'expérience du premier forage de Douai qui aura normalement été réalisé dans l'intervalle, permettra d'optimiser cette étape, notamment sur les points suivants (la gamme de profondeur est comparable, tout comme la nature des terrains traversés) :

- Type d'outil de forage à utiliser,
- Choix des tubages (grade, épaisseur, types de connexion),
- Complétion du puits dans le réservoir (crépine / trou nu),
- Outils de déviation à mobiliser (RSS, moteur de fond...),
- Composition chimique des boues de forage,
- Nécessité de faire intervenir ou pas une architecture avancée dans le réservoir (drain subhorizontal ou multi-drains).





## 5.4.6 Axe n° 1.6 : Rédaction du DAOTM/PEX

La rédaction du DAOTM (Dossier de Demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers) interviendra après validation de l'ensemble des volets du programme de recherche (économique, géoscience, énergétique et environnement). Il est soumis à l'acquisition ou la mise à disposition d'un terrain en phase étude et la validation des résultats par les collectivités concernées.

Une fois finalisé l'ensemble des points du programme de recherche (économique, géoscience, énergétique et environnement), et le site de forage choisi, la rédaction du DAOTM (Dossier de Demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers) pourra débuter. Il intégrera entre autres, une description de la solution technique retenue, le programme prévisionnel des travaux, l'adéquation besoins/ressource, un mémoire sur le risque de sismicité induite, une étude d'impact des travaux et de l'exploitation sur l'environnement tenant compte du site d'implantation choisi, et un document santé et sécurité en lien avec l'opération de forage.

Consécutivement aux travaux de forages et à la validation de la ressource, un dossier de demande de permis d'exploitation (PEX) sera déposé afin d'obtenir l'autorisation d'exploiter la ressource géothermale pour une durée initiale de 30 ans. Le permis d'exploitation sera accordé par le préfet si la demande est déposée pendant la durée de validité du PER et si celui-ci se situe à l'intérieur du périmètre de recherche et qu'elle ne comporte pas de modification significative du projet. Seul le titulaire du titre de recherche peut obtenir le permis d'exploitation.

## 5.4.7 Conclusion sur l'Axe 1

La démarche proposée pour ce premier Axe de travail se veut conforme aux bonnes pratiques, avec le recours à différentes techniques qui se recoupent.

**Mais surtout, il permet une valorisation immédiate des résultats de Douai au niveau du Grand Valenciennes, offrant ainsi une bonne compréhension régionale, affinée autour des futurs projets.**

			Echelle locale (e.g. PER, 20x20km)							
Méthode		Coût moyen	Profondeur	Extension latérale	Epaisseur totale	Epaisseur utile	Porosité	Perméabilité intrinsèque	Perméabilité héritée d'éléments structuraux	Température
Geophysique	Sismique active	2D seismic	1 - 5 k€ / km							
	Sismique active	2D seismic Haute Résolution	2,5 - 10 k€ / km							
	Sismique active	3D seismic	10 - 50 k€/km <sup>2</sup>							
	Sismique passive	Microsismicité	< 1 k€ / km <sup>2</sup>							
	Sismique passive	Tomographie de bruit	< 1 k€ / km <sup>2</sup>							
	EM actif	Source contrôlée / DC	1 - 5 k€ / km <sup>2</sup>							
	EM passif	Magnéto-Tellurie	< 1 k€ / km <sup>2</sup>							
	EM passif	Streaming Potential	< 0,1 k€ / km <sup>2</sup>							
Géologie	Champs potentiels	Gravimétrie	< 1 k€ / km <sup>2</sup>							
	Analyse structurale		x 10 k€ / étude							
	Lithologie		x 10 k€ / étude							
Géochimie	Minéralogie		x 10 k€ / étude							
	Géochimie des fluides		x 10 k€ / étude							
Modélisation	Géothermomètres		x 10 k€ / étude							
	Structurale/statique		x 40 à 80 k€ / modèle							
	Hydrodynamique et thermique		x 40 à 130 k€ / modèle							
Forages	Géomécanique		x 10 à 20 k€ / modèle							
	Forages de gradient thermique		x 10 k€ / puits							
	Forages d'exploration		x 1000 k€ / puits							

	Apporte de l'information précise
	Apporte peu ou pas d'information

Figure 60 - Méthodes d'exploration pour évaluer la ressource exploitable à une échelle 5 × 5 km (d'après BRGM RP-69790-FR) – les encadrés rouges mettent en évidence les techniques mobilisées dans le cadre du PER Grand Valenciennes

## Etudes « Energie Surface » (Axe 2)

Ce travail d'ingénierie énergétique devra faire ressortir la solution optimale de fourniture, en tenant compte des spécificités du sous-sol au droit du périmètre de recherche. Cette partie a été développée dans la **partie 2**.

Il représente un budget estimé à 79 k€ d'études internes et externes.

### 5.5.1 Axe n°2.1 : Définition des besoins énergétiques et des clients

En approfondissement des prospections préliminaires de prospection des besoins de chaleur détaillées dans la partie 2 du présent dossier, une actualisation des besoins sera réalisée après visite sur place et contact pris avec les municipalités et les syndicats des grandes résidences et bailleurs sociaux pour quantifier les besoins en chaleur de chaque commune, ainsi que les acteurs industriels ciblés.

### 5.5.2 Axe n°2.2 : Modélisation d'un réseau de chaleur & appoint

Dans cette partie, il s'agira d'étudier la nécessité de mise en place de pompe à chaleur et d'appoint thermique gazier et d'identifier le réseau de transport énergétique, les chaufferies d'ilots, ... ainsi que de réaliser une modélisation de couverture énergétique avec analyse de courbe monotone de besoin de puissance.

### 5.5.3 Axe n°2.3 : Adéquation entre ressources et besoins

Après estimation des besoins de surface et caractérisation des réservoirs cibles, la puissance thermique de l'exploitation géothermique (couple débit / température) servira de base pour le choix de la solution technique d'architecture du réseau.

### 5.5.4 Axe n°2.4 : Etude sur la conception de la boucle géothermale

Les spécifications techniques des équipements seront déterminées en cohérence avec les régimes de température, débit et pression attendus. La qualité d'eau telle qu'établi au niveau de Douai sera aussi prise en considération. Les sous-ensembles fonctionnels seront abordés :

- Dispositif de traitement anticorrosion en fond de puits ;
- Groupe de pompage immergé ;
- Colonne d'exhaure ;
- Réseau de surface ;
- Système de filtration ;
- Echangeurs de chaleur ;
- Groupe de pompage de réinjection.

# 5.6

## Etudes « environnementales » et des impacts du projet (Axe 3)

En synthèse, le travail environnemental devra faire émerger la solution optimale d'emplacement des travaux. Il s'attachera à réduire ou annuler toutes nuisances potentielles des travaux et de l'exploitation d'une centrale géothermique au droit du périmètre de recherche notamment vis-à-vis des riverains mais également de la ressource en eau.

Ce volet du programme de recherche représente un budget estimé à 203 k€ d'études internes et externes.

### 5.6.1 Axe n°3.1 : Implantation du site et études foncières

L'aire de chantier en configuration de forage comporte :

- Une aire de 4000 à 6000 m<sup>2</sup> selon la solution technique retenue, empierrée et compactée. L'empierrement et le compactage sont réalisés de manière à permettre, à la mise en place et au démontage, le passage des camions et engins de manutention et de transport des équipements, et en cours de travaux aux engins de manutentions des consommables et des matériels tubulaires. Cette aire est donc généralement traitée en « voirie lourde ».
- Un réseau de caniveaux disposé autour des bassins de fabrication et de circulation de la boue de forage. Ce réseau de caniveaux est destiné à drainer les effluents boueux vers le bournier par l'intermédiaire d'un bac déshuileur qui piège les effluents polluants.
- Des bassins étanches ou bourniers destinés à la récupération des déblais solides et liquides produits par le forage ainsi que de l'eau géothermale lors de la phase d'essai des puits.

Les travaux étant amenés à être réalisés en zone urbaine ou péri-urbaine, la machine de forage devra être implantée à une distance suffisante des premiers riverains afin de limiter les nuisances, notamment sonores.

Le site sera retenu en fonction de ces contraintes lors de cette étude.

### 5.6.2 Axe n°3.2 : Acceptabilité et plan de rencontre

Cette partie de l'étude concerne les réunions avec les collectivités, les présentations aux différentes administrations du projet et éventuellement l'organisation de réunions publiques.

### 5.6.3 Axe n°3.3 : Etude d'impact sur l'environnement et des ressources en eaux

A partir de la localisation du site d'implantation des forages, une étude d'impact environnemental des effets des travaux et de l'exploitation sera réalisée et intégrée à la demande d'ouverture des travaux.

### 5.6.4 Axe n°3.4 : Santé et sécurité du chantier et des ouvrages

Conformément à la réglementation, la demande d'ouverture de travaux intégrera les aspects liés à la sécurité et à la santé liés aux travaux de forage et à l'exploitation.

## Études juridiques et financières (Axe 4)

La description des travaux de l'Axe 4 Juridique et financier du programme de recherche figure dans la **partie 3 (paragraphe 3.4)**.

Ce volet du programme de recherche représente un budget estimé à 70 k€ d'études internes, notamment pour la création de la société projet.

# 5.8

## Réalisation des puits d'appréciation (Axe 5)

Cet axe comprend la réalisation de la phase préparatoire de la plateforme de forage et la réalisation d'un doublet de forages au Carbonifère. Ce volet du programme représente un budget estimé à ce jour à 19 485 k€ d'études internes.

## Synthèse du budget prévisionnel

Une synthèse des travaux d'études réalisés et les justificatifs des dépenses internes et externes (Cf. Tableau 10) engagées par ENGIE ES seront produits à la demande des services de la préfecture en charge du suivi de l'autorisation accordée durant la période d'exclusivité (DREAL Hauts-de-France).

Le budget d'étude pour le projet s'établit à 2 070 k€ sans la phase de réalisation des travaux de forage. Le budget total du projet avec le doublet de forages est évalué à 21 655 k€.

Engagement financier du demandeur	Coûts prévisionnels (études internes)	Coûts prévisionnels (sous-traitance)	Chronogramme prévisionnel des dépenses externes					
			2023	2024	2025	2026	2027	2028
<b>PER "Grand Valenciennes"</b>								
Constitution du dossier réglementaire (déjà engagée)	55	45	45					
<b>1 Programme Etude Sous-Sol (ESS)</b>								
Axe 1.1 : Etude de Faisabilité Sous-Sol et RETEX - Stade Offre - suivi géophysique	4	50		20	30			
Axe 1.2 : Retraitement Lignes Sismiques Anciennes et interprétation	9	100			100			
Axe 1.3 : Etude et design acquisition de données complémentaires	2	30			30			
Acquisition + traitement + interprétation sismique 2D (100km)	15	1000			1000			
Acquisition MT	5	100			100			
Forages de gradient	4	150			150			
Axe 1.4 : Inversion sismique 2D	3	150			150			
Axe 1.5 : Modélisation du réservoir & Architecture des puits (Etude APS)	2	50			50			
Axe 1.6 : Rédaction de la demande DAOTM+ frais instruction (enquête publique, etc....)	4	40				20	20	
Sous-total sous-sol	48	1670	0	20	1610	20	20	0
<b>2. Programme Etude Energie Surface (ES)</b>								
Axe 2.1 : Définition des besoins énergétique et des Clients	25							
Axe 2.2 : Modélisation d'un réseau de chaleur & Appoint	10	30		30				
Axe 2.3 : Adéquation ressources et besoins	5							
Axe 2.4 : Etude sur la conception de la boucle géothermale	4	5		5				
Sous-total surface	44	35	0	35	0	0	0	0
<b>3. Programme Etudes Environnement (EE)</b>								
Axe 3.1 : Implantation du site yc Etudes forcières terrain	5	85			85			
Axe 3.2 : Acceptabilité et plan de rencontre	5	5			5			
Axe 3.3 : Etude d'impacts sur l'environnement	12	80				80		
Axe 3.4 : Santé et sécurité du Chantier - réduction des nuisances	4	7				7		
Sous-total environnement	26	177	0	0	90	87	0	0
<b>4. Programme Juridique et Financier</b>								
Axe 4.1 : Etude juridique	20							
Axe 4.2 : Création de la société Production ENR	40							
Axe 4.3 : Etude économique et financière	10							
Sous-total juridique et financier	70	0	0	0	0	0	0	0
<b>5 Réalisation puits d'appréciation</b>								
Axe 5.1: Réalisation phase préparatoire de la plate-forme de forage	10	900					900	
Axe 5.2: Réalisation d'un doublet de forages au Calcaire Carbonifère (4000 m) (coût hors assurances et aléas, MOE et SAF)	75	18500						18500
Sous-total puits d'appréciation	85	19400	0	0	0	0	900	18500
<b>Total interne et externe en k€</b>	<b>328</b>	<b>21327</b>	<b>45</b>	<b>55</b>	<b>1700</b>	<b>107</b>	<b>920</b>	<b>18500</b>
<b>TOTAL Global en k€</b>		<b>21655</b>						

Tableau 10 - Budget prévisionnel des études et travaux engagés dans le cadre de ce PER