



ENGIE Solutions



# Projet de Géothermie au Carbonifère de Douai

Mémoire en réponse à la MRAe Hauts-de-France



Février 2024



[www.anteagroup.fr](http://www.anteagroup.fr)

## Table des matières

Objectif du mémoire .....	3
1. Résumé non technique.....	4
2. Articulation du projet avec les plans-programme et les autres projets connus .....	5
3. Etat initial de l'environnement, incidence notables prévisibles de la mise en œuvre du projet et mesures destinées à éviter, réduire et compenser ces incidences.....	7
3.1. Gestion des terres potentiellement polluées.....	7
3.2. Fluides de foration.....	8
3.3. Volume d'eau nécessaire à l'exécution des ouvrages.....	12
3.4. Actualisation après les travaux de forage .....	12
3.5. Rejet des eaux en phase d'exploitation .....	13
3.6. Risques naturels et technologiques .....	13
3.6.1. Potentiel de glissement des failles.....	13
3.6.2. Vulnérabilité des ouvrages vis-à-vis du risque sismique.....	14
<b>Annexe 1 : Résumé non technique .....</b>	<b>16</b>
<b>Annexe 2 : MeF des résultats .....</b>	<b>17</b>
<b>Annexe 3 : Localisation des sondages .....</b>	<b>18</b>

## Objectif du mémoire

L'objectif du présent mémoire est d'apporter les compléments et précisions requis par la MRAe dans le cadre de l'évaluation environnementale du projet géothermique au Carbonifère de Douai.

L'avis de la MRAe a été communiqué à ENGIE Solutions le 22 décembre 2023.

### **La MRAe recommande principalement :**

- De définir la modalité de gestion des terres potentiellement polluées du site pour prévenir tout risque de pollution, notamment des sols déjà en place sur le site de l'usine.
- De préciser la nature des fluides de forage de afin de pouvoir définir leurs potentiels impacts sur la ressource en eau, et définir les mesures à prendre pour le choix des fluides en ce qui concerne : leurs impacts sur les milieux et la qualité des eaux brunes après traitement.
- De définir les modalités de gestion adaptées des eaux géothermales, après caractérisation physico-chimique de ces dernières.
- De compléter l'étude du risque sismique par la prise en compte d'hypothèses plus larges concernant la susceptibilité au glissement des différentes failles du réservoir géothermique en prenant en compte toutes les directions possibles de failles, sans se limiter aux seules failles et directions identifiées.

**Conformément à l'article L.122-1 du code de l'environnement, ce mémoire constitue la réponse écrite du Maître d'Ouvrage à l'avis de la MRAe.**

## 1. Résumé non technique.

**La MRAe recommande d'actualiser le résumé non technique après compléments de l'étude d'impact et, pour une meilleure information du public, de le présenter dans un fascicule séparé.**

Le résumé non technique sera fourni sous la forme d'un document unique après mise à jour afin de faciliter sa prise en main par le grand public. Il constitue l'Annexe 1 du présent mémoire en réponse.

## 2. Articulation du projet avec les plans-programme et les autres projets connus

L'autorité environnementale a conclu au respect des orientations du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) du fait que la géothermie n'implique pas ou peu de prélèvements nets d'eau dans les nappes souterraines. Cependant, le projet pourrait avoir un impact sur la qualité de l'eau par ses rejets. L'analyse de la compatibilité avec le SDAGE nécessite donc d'être complétée sur ce point, notamment en regard de la disposition A-1.1 – Limiter les rejets.

L'autorité environnementale recommande de compléter l'analyse de la compatibilité du projet avec le SDAGE vis-à-vis de l'impact de ses rejets sur la qualité de l'eau.

Le SDAGE vise, à travers ses orientations et dispositions, à préserver et restaurer la fonctionnalité écologique des milieux aquatiques et des zones humides. L'orientation A-1 : « Continuer la réduction des apports ponctuels de matières polluantes classiques dans les milieux » présente les objectifs environnementaux relatifs aux rejets, à l'assainissement et à la collecte des eaux. Il y est notamment spécifié :

*Les maîtres d'ouvrage [...], pour leurs installations, ouvrages, travaux, [...] ajustent les rejets d'effluents urbains ou industriels au respect des objectifs environnementaux spécifiques assignés aux masses d'eau, [...] en utilisant les meilleures techniques disponibles à un coût acceptable. [...] Tout projet soumis à autorisation soumis à autorisation, enregistrement ou à déclaration au titre du code de l'environnement [...] doit aussi adapter les conditions de rejet pour préserver les milieux récepteurs particulièrement sensibles aux pollutions.*

Ces objectifs sont les suivants :

- *Prévenir la dégradation des milieux (ne pas dégrader les eaux de surface, inverser les tendances à la hausse de concentration de polluant, protéger les eaux souterraines) ;*
- *Atteindre le bon état des milieux (bon état écologique et chimique des eaux de surface, bon état chimique et quantitatif des eaux souterraines) ;*
- *Réguler les émissions de substances (réduire les substances prioritaires, supprimer les substances dangereuses prioritaires avant 2021, 2028 et 2033) ;*
- *Respecter les objectifs propres à chaque zone protégée (réseau Natura2000, zones conchylicoles, zones de baignade, zones sensibles, zones vulnérables, zones désignées pour le captage d'eau.*

Des solutions alternatives au rejet direct dans le cours d'eau (épandage ou fertirrigation, infiltration après épuration, stockage temporaire, réutilisation, etc.) sont également mises en évidence par le SDAGE.

Les mesures d'évitement et de réduction des impacts décrites dans l'étude d'impact permettront de respecter ces objectifs en adaptant les conditions de rejet pour préserver les milieux.

Pour rappel, quatre rejets principaux ont été identifiés dans la notice d'impact :

- Les eaux superficielles de ruissellements potentiellement polluées pendant l'opération de forage,
- Les eaux de rejets de la base vie pendant le forage,
- Les rejets d'eau géothermale pendant les essais à la fin de chaque forage,
- Les eaux issues de la déshydratation des boues de forage.

Pour les premières, le site sera équipé d'un système de gestion des effluents, décrit dans la double demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers et dans l'étude d'impact : la surface imperméable de la plateforme de forage permet de garantir la collecte des eaux de ruissellement. Une rétention et un débourbeur permettent de gérer ces eaux en cas de pollution accidentelle au cours des opérations de forage. En situation normale, ces eaux sont rejetées dans le réseau d'eau pluviale de l'usine Renault.

Les eaux de la base vie et celles issues de la déshydratation des boues de forages seront destinées au réseau d'eaux usées de l'usine. Des contrôles réguliers seront réalisés afin d'établir que la qualité de ces eaux est compatible avec les seuils d'acceptation de la station d'épuration propre à l'usine.

Pendant les essais, l'eau géothermale produite fera l'objet dans un premier temps d'un refroidissement et d'un stockage. Pour cela, des cuves en place sur le site de l'usine de 1000 m<sup>3</sup> chacune, seront vraisemblablement mobilisées. Des analyses physico-chimiques pourront alors être menées afin de définir la nature de l'exutoire pour ces eaux, pour laquelle deux possibilités existent :

- Un rejet dans le réseau d'eau pluviale, si comme le laissent supposer les investigations préliminaires, l'eau géothermale est peu minéralisée (sur le modèle de Mons en Belgique, où les eaux du calcaire carbonifère sont déjà valorisées pour la géothermie depuis plusieurs décennies : la centrale de Ghislain par exemple, fonctionne à un débit continu de 100 m<sup>3</sup>/h avec un rejet direct dans le milieu naturel et n'est pas dotée de forage de réinjection).
- Un rejet dans le réseau d'assainissement du Douaisis pour le cas où la qualité d'eau (qui sera donc établie avant tout rejet) ne serait pas compatible avec les critères d'acceptation du réseau d'eau pluviale.

Il est enfin souligné que les volumes en jeu sont très réduits dans la mesure où ceux-ci ne sont liés qu'à la phase d'essai de chacun des forages (à la différence encore une fois, de Mons en Belgique, où toute l'eau géothermale exploitée est rejetée en surface).

Ces arguments viennent ainsi compléter l'analyse de la compatibilité du projet avec le SDAGE abordée dans le dossier minier.

### 3. Etat initial de l'environnement, incidence notables prévisibles de la mise en œuvre du projet et mesures destinées à éviter, réduire et compenser ces incidences

#### 3.1. Gestion des terres potentiellement polluées

L'autorité environnementale recommande, dans le cadre de la phase travaux du projet, de préciser les modalités de gestion des terres potentiellement polluées du site sur lequel il vient s'implanter afin de prévenir tout risque de pollution.

Le projet de géothermie de Douai a pour objectif de limiter au maximum son empreinte sur l'environnement. Les travaux de forage nécessitent la mise en place d'une plateforme étanche (notamment pour pouvoir gérer les eaux de ruissellement – cf. paragraphe précédent). Pour ce faire, l'excavation des couches de surface qui occupent actuellement le site est nécessaire. De manière général, ces terres seront mises de côté et seront réutilisées à l'issue des travaux de forage et après démolition de la plateforme. Pour ce faire, un diagnostic pollution des terrains est réalisé en amont afin d'évaluer l'état du sol au regard des concentrations en métaux lourds et en hydrocarbures. Les travaux en question sont en cours et la première analyse des sondages réalisés montre une absence de pollution dans la zone concernée, ce qui est cohérent avec l'analyse historique de cette partie de l'usine qui n'a jamais accueilli d'activité industrielle significative. Tous les échantillons analysés répondent favorablement aux critères d'acceptation en ISDI (déchets inertes).



Figure 1 – Sondages réalisés pour l'étude pollution en cours

## 3.2. Fluides de foration

Les fluides de foration (boues de forage), nécessaires aux opérations de forages sont préparés sur site de chantier. Des additifs et polymères rentrent dans la composition de ces fluides. L'autorité environnementale recommande de :

- Préciser les propriétés physico-chimiques des additifs potentiellement utilisés en termes d'écotoxicité, de biodégradabilité et de bioaccumulation ;
- Évaluer en regard des quantités qui seront employées pour la réalisation des forages, l'impact potentiel correspondant ;
- Expliquer les mesures correctives pour y remédier.

Le projet prévoit de déshydrater les boues de forage et de rejeter l'eau dans le réseau d'eaux usées de l'usine Renault. L'autorité environnementale recommande, après avoir précisé les additifs utilisés, de définir les modalités de traitement des eaux issues des boues de forage, leurs impacts sur les milieux et les mesures associées, notamment de suivi de la qualité des eaux brutes et après traitement.

Le sujet des fluides de forage a été revu par un hydrogéologue agréé qui a approuvé le programme au regard de la réglementation et des impacts sur l'environnement. Il a émis plusieurs recommandations qui seront suivies, notamment sur la traversée de l'aquifère crayeux qui sera forer à l'eau claire, de manière à ne pas risquer de polluer la nappe. Cette nappe libre est la seule exploitée à l'aplomb du site de Douai et des forage prévus, les formations traversées jusqu'au réservoir géothermal étant pour la plupart non poreuse et non réservoir.

Le forage se poursuivra au-delà de la craie avec un programme de boue fréquemment utilisé dans le Bassin parisien où de nombreux aquifères exploités sont traversés. Il s'agira d'une boue bentonitique améliorée avec des additifs et des polymères. Ces produits de boue ne seront pas au contact d'aquifères à Douai et leur utilisation permet une bonne tenue de l'ouvrage afin d'éviter des potentiels risques d'instabilité, de venues d'eau et de créer une couche imperméable le long du forage pour limiter la diffusion de la boue dans d'éventuel milieux poreux.

Le dispositif de gestion des boues de forage prévu est conforme à celui décrit dans le document cité par la MRAE et rappelé ci-après.

## 5.2. EXEMPLES DE PRATIQUES ET DISPOSITIONS PRISES PAR LES EXPLOITANTS

En matière de pratiques courantes, les principes suivants sont employés (discussion avec CFG Services sur les forages géothermiques) :

- aucune perte n'est souhaitée, tout fonctionne en circuit fermé et tous les fluides et déblais doivent idéalement être récupérés en surface en vue d'être recyclés ou traités ;

34

BRGM/RP-61953-FR – Rapport final

Impact environnemental des boues de forage offshore

- des boues bentonitiques sont employées lors de la première phase de forage hors avant-puits de 250 à 400 m de profondeur, qui est la phase de forage la plus sensible si jamais il y avait des pertes accidentelles (sol perméable, fracturé...) ;
- au-delà, des boues soit bentonitiques, soit bentonitiques améliorées, soit aux polymères biodégradables sont employées ;
- comme additifs, des billes de plastique ou de graphite peuvent être employées pour éliminer la friction, des coquilles de noix broyées employées comme colmatants...
- il n'y a généralement pas d'étude d'impact environnemental effectuée vis-à-vis des boues et additifs. Leur composition est communiquée aux autorités.
- Les boues et déblais sont stockés provisoirement en bassins étanches. Pour l'exploitant, plusieurs pratiques existent afin de traiter ces déchets (cf. annexes 15 à 21) :
- il y a toujours une phase de prétraitement sur site avant évacuation (décantation, centrifugation...) ;
- évacuation par camions citernes et traitement à l'extérieur du site ;
- traitement complet sur le site avec solidification des boues.

Afin de séparer les phases (séparation des solides inertes, des eaux récupérables pour réemploi dans la boue, des déchets ultimes...), plusieurs procédés sont employés. Ces phases sont systématiques sur les forages :

- le traitement des boues en sortie de puits débute par un passage sur vibreur, qui permet la séparation de la partie liquide et de la partie solide ;
- les boues sont ensuite acheminées vers les bacs et centrifugés (élimination de la partie solide la plus fine) ;
- enfin, les opérations de déshydratation, floculation sont des opérations de traitement final avant envoi vers un centre de traitement agréé.

*In fine*, le traitement des déchets ultimes se fait sur site agréé après transport vers ce site.

Figure 2 – Extrait de l'étude de référence citée par la MRAE sur les boues de forage

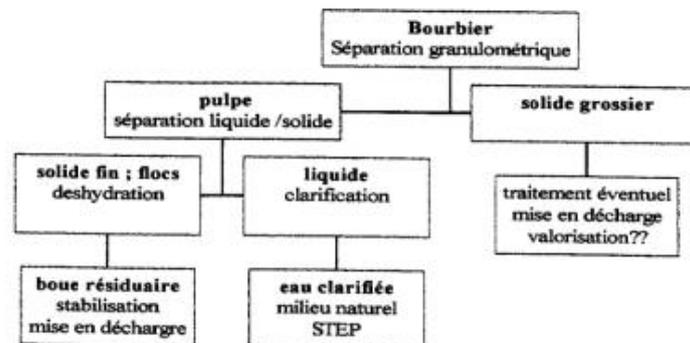


Illustration 4 – Logigramme des principales étapes de traitement des boues de forage à terre, étant considérées comme déchets. STEP : station d'épuration.

Figure 3 – Extrait de l'étude de référence citée par la MRAE sur les boues de forage

Le rapport cité formule effectivement un certain nombre de recommandations (rappelées ci-après), mais elles s'appliquent au cas particulier des forages en mer.

## 6. Conclusions et propositions de rédaction

Étant donnés les impacts potentiellement significatifs liés aux rejets de déblais et boues dans le milieu marin, une ou plusieurs des voies d'actions ci-dessous pourraient être envisagées :

- demander la composition précise des fluides employés. Celle-ci devra être au moins compatible avec la liste PLONOR. Une étude d'impact environnemental doit être faite pour en attester le faible impact ;
- agir sur la qualité des substances (potentiellement) introduites dans l'environnement. Cela pourrait se traduire par :
  - interdire le rejet sur site de tous les types de boues, en particulier aux hydrocarbures ainsi que des déblais associés aux boues à hydrocarbures et inciter à la place l'usage de boues bentonitiques (à base d'eau et d'argile) et les boues synthétiques à polymères respectant au mieux les différents critères d'écotoxicité, de biodégradabilité, de bioaccumulation,
  - s'assurer que l'impact des additifs sur l'environnement, quel que soit le type de boue employé, est limité : émettre des spécifications en termes de toxicité, biodégradation, bioaccumulation et/ou demander à ce qu'il soit démontré que ces additifs aient un faible impact environnemental,
  - pour les déblais : demander à ce que des études soient réalisées afin de montrer leur faible dangerosité vis-à-vis de l'environnement (par exemple en ce qui concerne leur contenu en hydrocarbures, métaux lourds, radionucléides, l'étouffement des fonds marin par sédimentation...etc.) ;
- agir sur la quantité des substances (potentiellement) introduites dans l'environnement, et sur leur qualité (rechercher des substituts plus acceptables du point de vue de l'environnement) ;
- limiter la quantité de substances introduites dans l'environnement par des seuils fixés pour les boues et/ou les déblais ;
- demander à ce que soient faites des études en amont du projet pour réduire la quantité de résidus produits et pour justifier le rejet dans le milieu marin (par rapport à d'autres alternatives).

Figure 4 – Conclusion de l'étude citée par la MRAE

Enfin, le programme de forage détaillé sera communiqué à la DREAL avant le début des travaux. Il intégrera le détail des additifs prévus pour la boue de forage.

Le dispositif de traitement des eaux sur site sera conçu pour aboutir à un effluent respectant les seuils d'acceptation en entrée de station d'épuration qui sont mentionnés ci-après :

MeS	250 mg/l
DCO	750 mg/l
DBO5	300 mg/l
NGL	80 mg/l
P total	10 mg/l

Tableau 1 – Seuils d'acceptabilité pour la station d'épuration Renault

Des analyses régulières seront effectuées pour assurer la qualité de ces rejets. En cas des dépassements des seuils autorisés, l'évacuation se fera par camions citernes vers une filière de traitement adaptée.

Le bon ordre de grandeur de volume rejeté prévisionnel est de 5000 m<sup>3</sup> par forage (les rejets ne sont pas continus sur les 120 jours cités par ouvrage).

### 3.3. Volume d'eau nécessaire à l'exécution des ouvrages

**L'autorité environnementale recommande de préciser le volume d'eau nécessaire à l'exécution de l'ensemble des travaux de foration (notamment en cas de perte totale ou le forage se poursuivra à l'eau), qui sera prélevé sur le réseau d'alimentation en eau potable et de s'assurer de la capacité de ce réseau à le fournir sans préjudice sur les autres usages.**

Les travaux de forage au sens strict devraient durer 480 jours au total en considérant que le forage d'un puits durera 120 jours. Par ailleurs, la consommation eau lors d'un fonctionnement normal s'élève en moyenne à 100 m<sup>3</sup>/jour. Pour la totalité de la phase travaux, c'est donc environ 48 000 m<sup>3</sup> d'eau qui seront nécessaires pour la réalisation des quatre ouvrages.

Ce volume pourrait évoluer à la hausse en cas de traversée de certaines formations en perte totale. La composition de la boue sera adaptée pour éviter au maximum cette situation. Les forages voisins existants réalisés dans les mêmes formations géologiques n'ont pas mis en évidence de risque similaire.

Il a été bien vérifié que le réseau d'eau industrielle de l'usine serait à même de répondre au besoin pour les forages (à la fois en matière de volume global et de débit de pointe requis).

### 3.4. Actualisation après les travaux de forage

**Les eaux géothermales peuvent contenir des concentrations variables des minéraux et autres éléments pouvant être potentiellement toxiques non traités par les procédés standard de station d'épuration. Or il n'est pas envisagé d'autre possibilité pour la gestion de ces eaux. L'autorité environnementale recommande après caractérisation physico-chimique des eaux géothermales d'actualiser l'étude d'impact.**

Le caractère exploratoire du projet de géothermie de Douai est important. A ce titre, la qualité de l'eau géothermale est encore largement inconnue. Comme déjà exposé, une analyse physico-chimique de cette eau sera réalisée à partir des tous premiers échantillons obtenus après foration du réservoir, et avant tout rejet.

Les modalités de rejet seront adaptées à ces résultats d'analyse (cf. paragraphe 2).

## 3.5. Rejet des eaux en phase d'exploitation

**L'autorité environnementale recommande, à l'issue des analyses physico-chimiques conduites sur les eaux géothermales et dans l'hypothèse où celles-ci révéleraient la présence d'éléments toxiques ne pouvant être traités en filière classique de station d'épuration, de prévoir les modalités adaptées à la gestion de ces eaux tant pour la phase travaux que celle d'exploitation.**

En exploitation, les volumes marginaux en lien avec les opérations ponctuelles de maintenance (nettoyage des filtres, des échangeurs...), de l'ordre du millier de mètres cube par an, auront un cycle de traitement adapté à leurs propriétés physico-chimiques déterminées après le forage du premier puits. La centrale géothermique sera équipée d'un volume de stockage permettant de tamponner ces eaux avant tout rejet vers le milieu approprié.

## 3.6. Risques naturels et technologiques

### 3.6.1. Potentiel de glissement des failles

**L'autorité environnementale recommande d'évaluer la susceptibilité au glissement des différentes failles du réservoir géothermique selon la méthode de la tendance au glissement en prenant en compte toutes les directions possibles de failles, sans se limiter aux seules failles et directions identifiées.**

La question du risque de sismicité induite a été soumise à une tierce expertise menée par le BRGM. Le rapport correspondant (référéncé BRGM/RC-73350-FR) a été émis en deux temps : une première version en octobre 2023, puis **la version définitive de janvier 2024** qui tient compte de toutes les précisions qui ont pu être apportées dans l'intervalle. Trois directions de faille ont été testées dans le document remis au BRGM. Suite à l'observation de la MRAE, l'approche a été reprise avec une distribution aléatoire de 100 failles, dans toutes les directions). La conclusion déjà tirée reste valable puisque, quelle que soit la direction des failles, la surpression maximale envisagée (de l'ordre de 1000 psi) reste de l'ordre de 2 fois inférieure à celle tolérable (de l'ordre de 2000 psi).

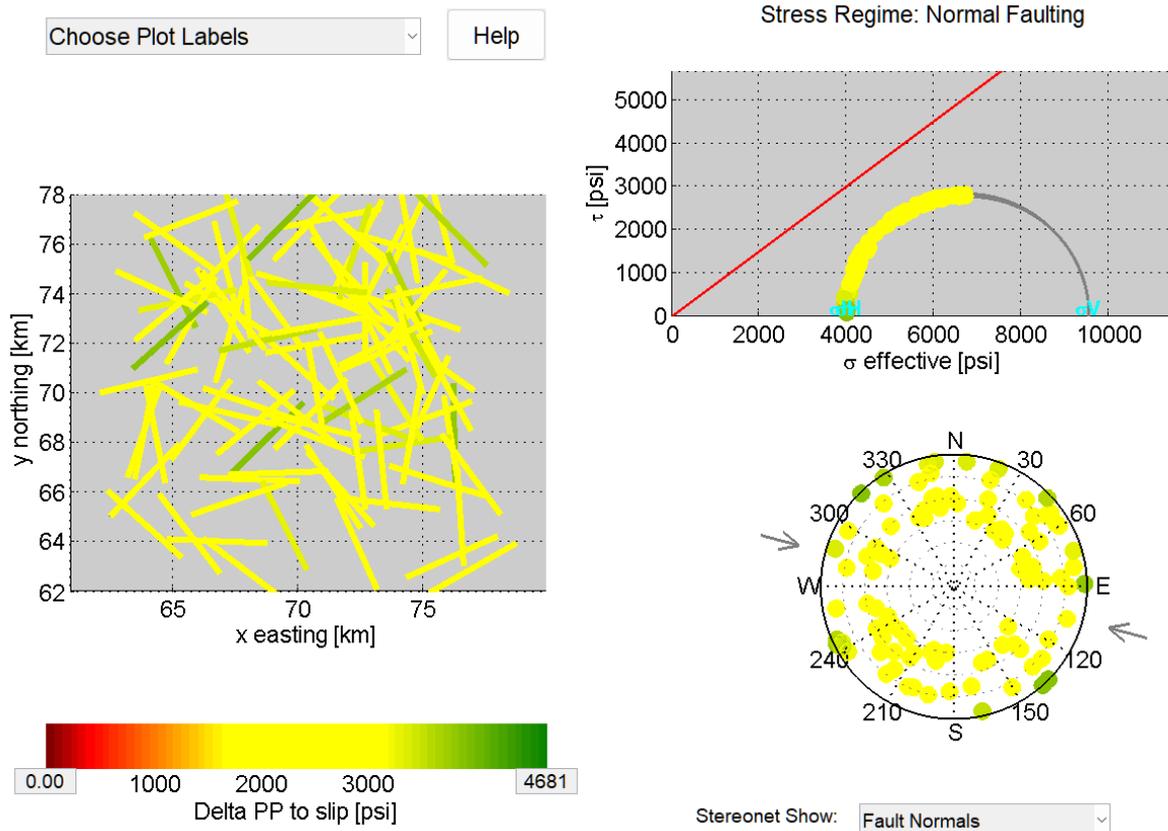


Figure 5 – Modélisation multidirectionnelle de la tendance au glissement avec le logiciel FSP

### 3.6.2. Vulnérabilité des ouvrages vis-à-vis du risque sismique

L'autorité environnementale recommande d'étudier et argumenter la vulnérabilité des puits vis-à-vis du risque sismique à partir d'exemples comparables et transposables au cas de figure du présent projet de géothermie au Carbonifère, notamment en ce qui concerne les propriétés physicochimiques des fluides exploités et leurs effets en cas d'injection dans un niveau potentiellement instable, comme une zone de faille.

Le sujet à éclairer est très spécifique et n'a pas fait l'objet d'une littérature scientifique abondante, c'est pour cette raison que les points de référence cités portent sur des ouvrages pétroliers. A notre connaissance, il n'existe pas d'étude équivalente pour des ouvrages géothermiques (bien moins nombreux que les forages pétroliers).

Par ailleurs, il peut être souligné que s'agissant d'un comportement géomécanique, la nature du fluide en jeu importe peu, le milieu réagissant avant tout aux écarts de pression. Les puits pétroliers et géothermiques sont intrinsèquement similaires et les risques présentés dans l'exemple californien sont également applicables aux ouvrages du projet.

Ensuite, la faille majeure du secteur de Douai (la faille du Midi) est tout à fait déconnectée du réservoir visé. Elle sera en effet couverte par le tubage 13 3/8", qui sera lui-même cimenté sur toute sa hauteur. La faille du Midi ne risque donc pas de voir la perturbation de pression induite par l'exploitation géothermique.

## Annexe 1 : Résumé non technique

# Projet de géothermie au Carbonifère de Douai (59)

Réalisation de deux doublets géothermiques au  
Carbonifère pour le projet de Douai (59)

*Résumé non technique de la double demande d'autorisation de  
recherche et d'ouverture de travaux minier*



Mars 2024

# Résumé non technique

L'entreprise Renault, souhaite décarboner plusieurs de ses sites en France. Dans cette logique, ENGIE Energie Services a été missionné par Renault pour porter un projet de géothermie intégrant deux doublets au Carbonifère à partir du site de Douai. Localisée sur les communes de Cuincy et Lambres-Lez-Douai dans la banlieue de Douai, l'usine Renault concernée verrait ainsi entre 64 et 70% de ses consommations gaz effacées par la géothermie.

Les têtes de puits des doublets seront implantées directement sur le site d'exploitation de l'usine automobile. Une centrale géothermique (où s'effectue l'échange de chaleur) sera construite à proximité des forages sur le même site.

Dans ce cadre, ENGIE Energie Services sollicite donc deux demandes d'autorisation de recherches et deux demandes d'ouverture de travaux minier (AR-DAOTM) d'un gîte géothermique au Carbonifère pour deux nouveaux doublets. Le présent dossier sera déposé à cet effet en préfecture du Nord et soumis à enquête publique. Il sera également déposé en préfecture du Pas-de-Calais pour signature.

Conformément à la réglementation en vigueur, les deux titres de recherche sont sollicités pour une durée maximale de 3 ans. À l'issue des travaux de forage des nouveaux doublets, et en cas de succès des forages, deux permis d'exploitation seront demandés pour une durée initiale de 30 ans prolongeables par période de 15 ans.

## Introduction à la géothermie basse température

La géothermie basse température consiste en l'extraction d'une eau à une température généralement comprise entre 85°C et 150°C, à partir de gisements profonds. L'essentiel des réservoirs exploités en France se trouve dans les bassins sédimentaires comme le Bassin de Paris. L'exploitation des réservoirs repose sur un fonctionnement en doublet (Figure 1) :

- Un forage permet de puiser l'eau à grande profondeur, là où elle est naturellement très chaude ;
- Ramenée à la surface du sol, par sa pression naturelle ou à l'aide d'une pompe, l'eau est envoyée par une canalisation étanche à une centrale géothermique ;
- La production de chaleur a lieu dans la centrale géothermique, au moyen d'un échangeur de chaleur constitué d'une série de plaques en métal inoxydable (titane) assurant une grande surface d'échange. L'eau issue du sous-sol circule d'un côté, l'eau alimentant les installations de chauffage circule de l'autre côté. Il n'y a aucun contact direct entre les deux eaux ;
- L'eau provenant du sous-sol est renvoyée en profondeur après avoir cédée une part de sa chaleur ;
- Un réseau de chaleur permet d'acheminer l'eau réchauffée après passage dans les échangeurs vers les diverses installations à alimenter.

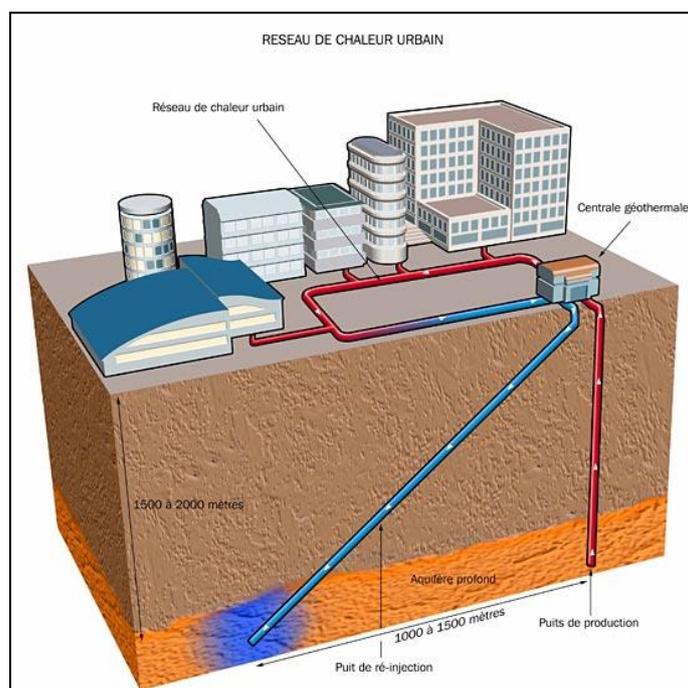


Figure 1 – Principe de fonctionnement d'un doublet géothermique (source : ADEME/BRGM)

L'Île-de-France est riche d'une cinquantaine d'exploitations géothermiques, et constitue une région pilote en France et en Europe. Leurs positions sont rappelées sur la Figure 2.

L'AFPG a édité une étude de marché en 2015 sur la géothermie en France répertoriant 40 réseaux de chaleur exploitant la géothermie au Dogger, sous forme de doublets ou de triplets de forage. Les réseaux de chaleur bénéficiant de la géothermie alimentent près de 210 000 équivalents logements.

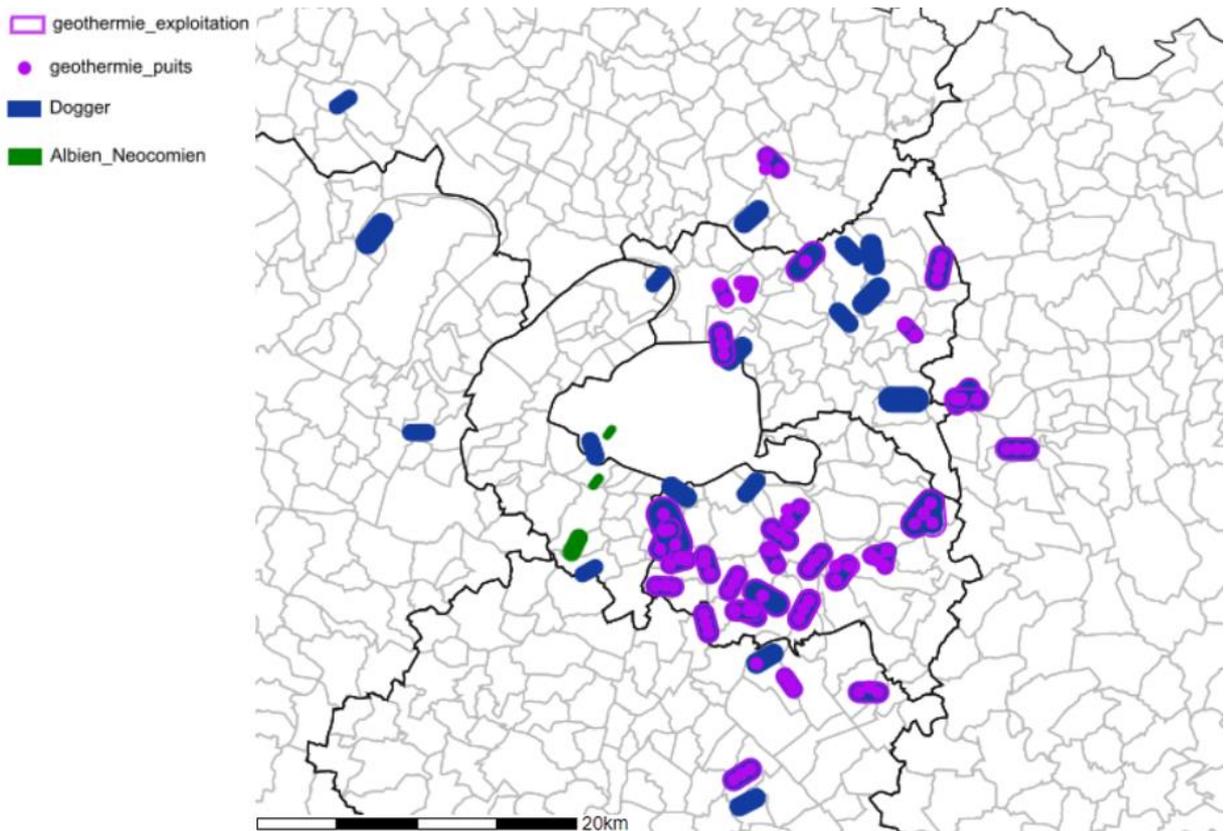


Figure 2 –Doublets et triplets géothermiques dans la région Ile-de-France (source : Base Carmen - DRIEAT)

Dans les Hauts-de-France, le développement de la géothermie n'est pas phénomène nouveau. La région comprend un nombre non négligeable d'installations présentées à la Figure 3. Néanmoins, ces installations sont majoritairement des installations de surfaces (installations sur sondes et sur nappe superficielle). Elles sont différentes de celle envisagée à Douai.

Les données s'étendent de 1980 à 2018 pour le versant sud et de 2016 à 2018 pour le versant nord

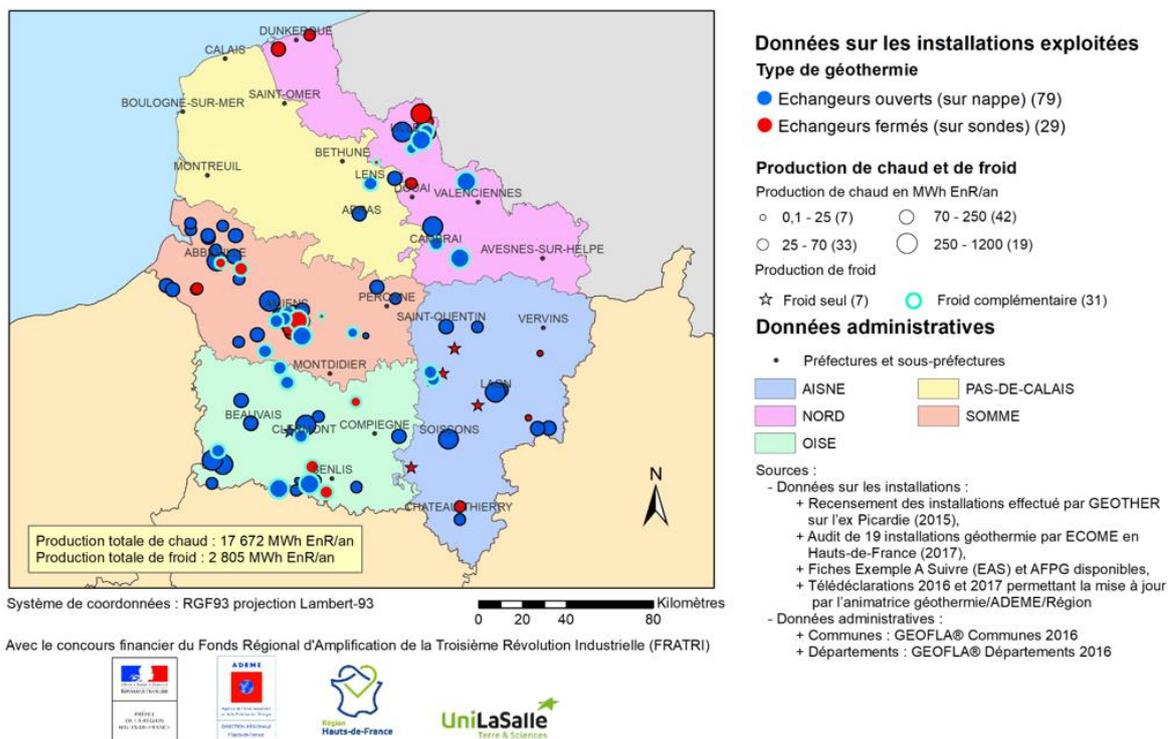


Figure 3 : Installation de géothermie au 1<sup>er</sup> janvier 2018 (Haut-de-France) (Source : UniLaSalle Beauvais)

# Localisation

Les têtes de puits des doublets seront implantées au sein de l'usine Renault en périphérie de la ville de Douai (Figure 4 & Figure 5). L'usine se trouve à cheval entre les communes de Cuincy et de Lambres-Lez-Douai. Les têtes de puits, la plateforme de forage et toute la zone travaux se situeront sur la commune de Cuincy (Figure 6).

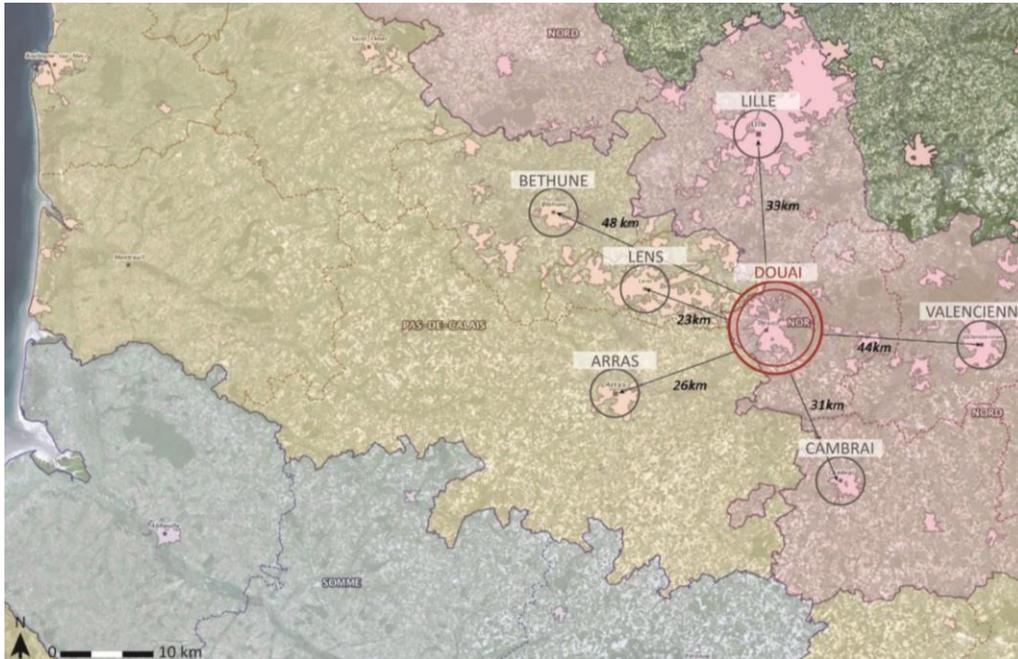


Figure 4 – Localisation du projet (source : PLU de Douai)

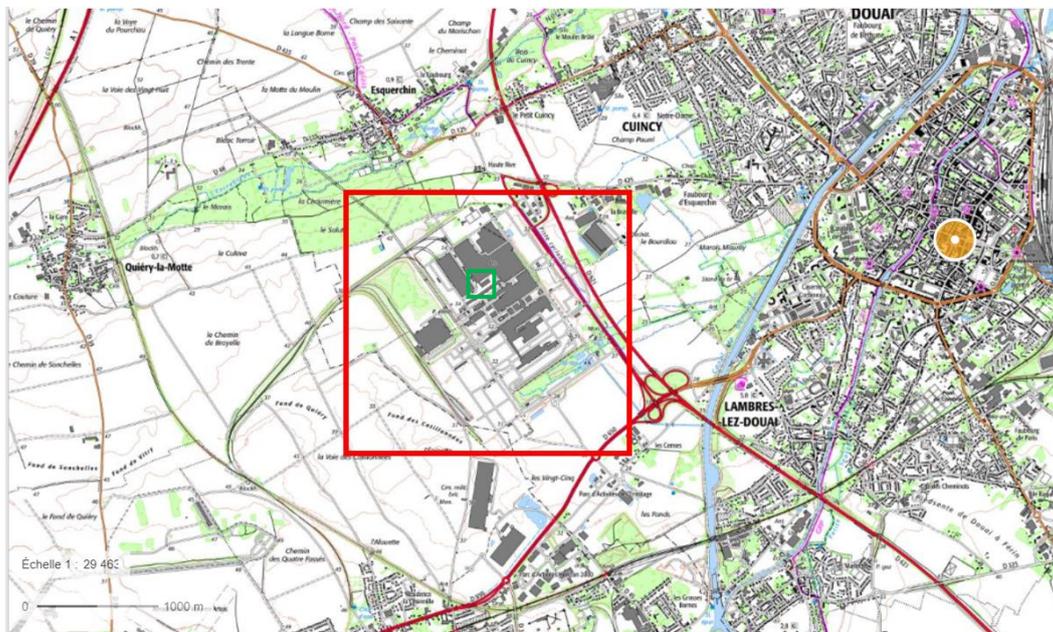
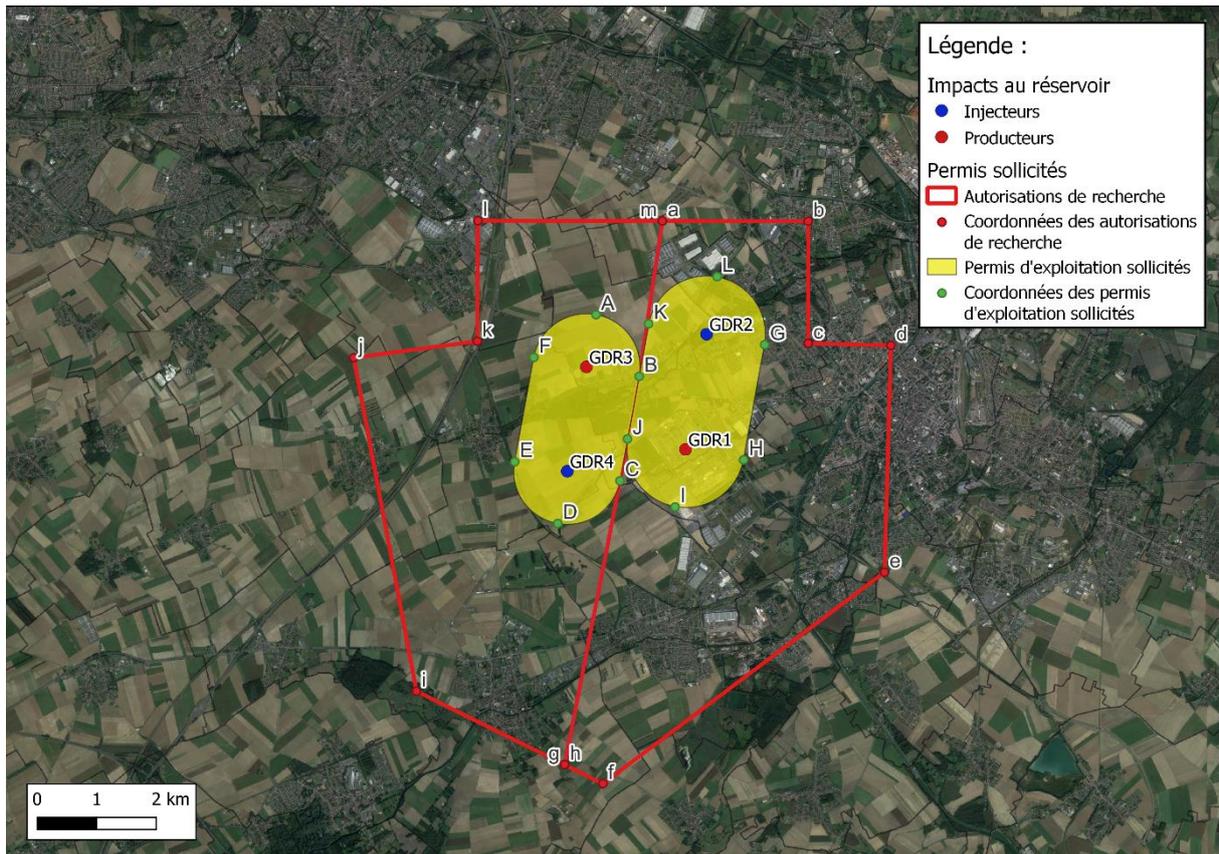


Figure 5 : Zone d'implantation du projet (rectangle rouge) et des forages (rectangle vert).



**Figure 6 : Implantation des têtes de puits sur le site de l'usine Renault**

Le projet comprend donc deux demandes d'autorisation de recherche et deux demandes d'autorisation d'ouverture de travaux minier. Les périmètres associés à l'autorisation de recherche, et les périmètres des futurs permis d'exploitation qui pourront être sollicités sont renseignés ci-dessous.



**Figure 7 – Périmètres d'exploitation et de recherche envisagés pour les demandes**

Les communes concernées par les demandes d'autorisation sont les suivantes :

- Courcelles-lès-Lens (Pas-de-Calais) ;
- Flers-en-Escrebieux (Nord) ;
- Lauwin-Planque (Nord) ;
- Esquerchin (Nord) ;
- Cuincy (Nord) ;
- Douai (Nord) ;
- Brebières (Pas-de-Calais) ;
- Vitry-en-Artois (Pas-de-Calais) ;
- Noyelles-sous-Bellonne (Pas-de-Calais) ;
- Noyelles-Godault (Pas-de-Calais) ;
- Quiéry-la-Motte (Pas-de-Calais) ;
- Izel-lès-Equerchin (Pas-de-Calais) ;
- Hénin-Beaumont (Pas-de-Calais) ;
- Corbehem (Pas-de-Calais)
- Lambres-lez-Douai (Nord)
- Courchelettes (Nord)

# Travaux de forage projetés



Figure 8 – Exemples d’ateliers de forages géothermiques (Source : ENGIE Solutions)

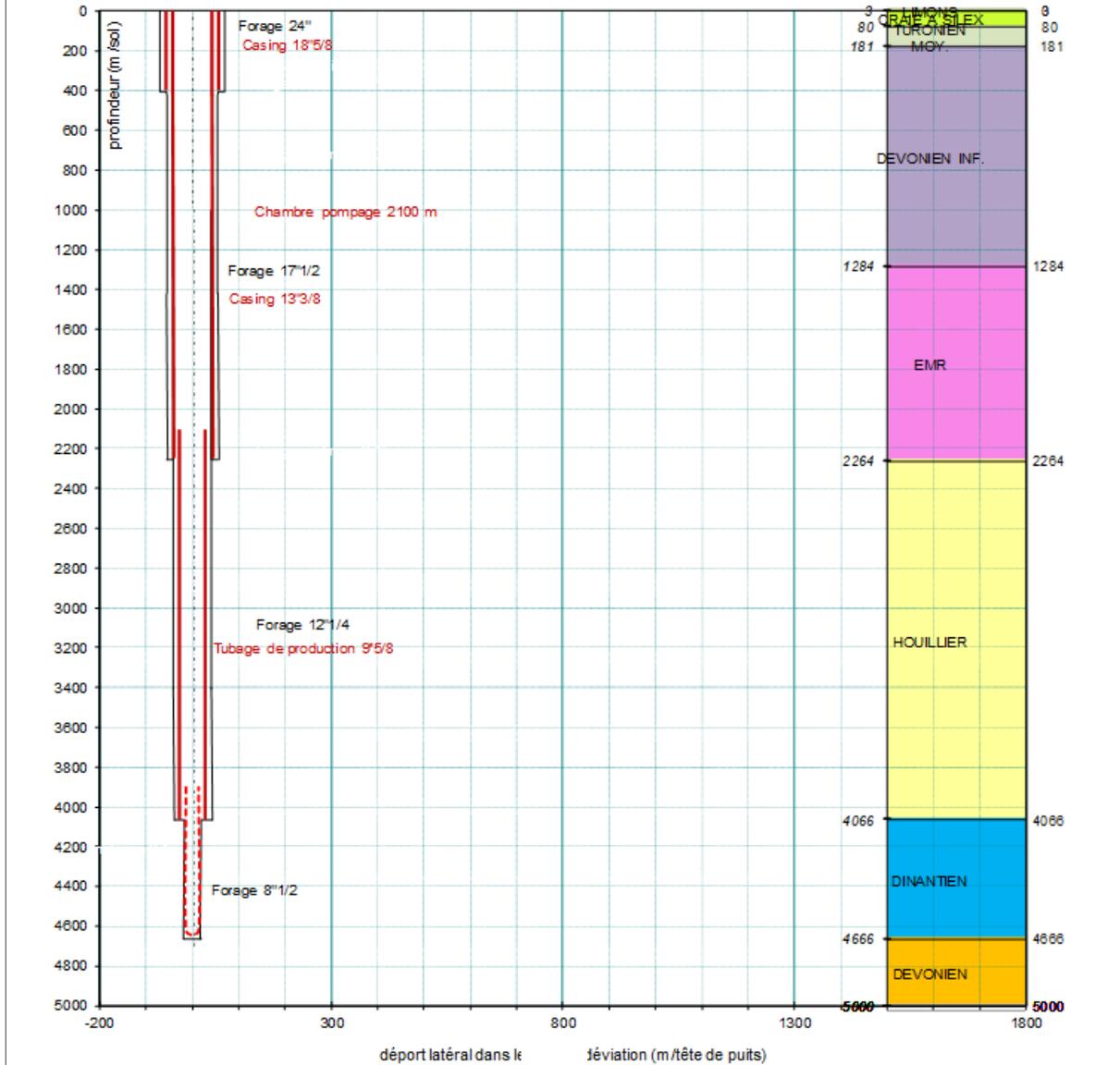
Les travaux seront réalisés avec un appareil de forage de type pétrolier ayant la capacité de travailler à des profondeurs de l’ordre de 4500 mètres dans un contexte périurbain (Figure 8).

Les coupes techniques des futurs ouvrages ont été construites en tenant compte des débits d’exploitation visés (qui conditionnent le diamètre des tubages), des différents aquifères à isoler, et de

manière à espacer suffisamment les points d'impact des différents forages au niveau du réservoir (afin de limiter l'impact du recyclage thermique : le fait de pomper de l'eau déjà refroidie par l'exploitation géothermique).

Un exemple d'architecture d'un des ouvrages du projet est présenté à titre informatif en Figure 9.

Douai - FORAGE PRODUCTION - GDR1



Les colonnes techniques de départ (avant-puits, tube guide) ne sont pas représentées

	Diamètre	mTVD	mMD		mTVD	mMD
forage 1	24"	405	405	Toit Dogger	4066	4066
forage 2	17"1/2	2255	2255			
forage 3	12"1/4	4068	4068	DEPORT (toit aquifère)	5	KC
forage 4	8"1/2	4666	4666	DEPORT (fond forage)	6	EC
						KC
						EC
casing 1	18"5/8	400	400	Chambre de pompage	2100 m	KOP3
casing 2	13"3/8	2250	2250			3400
casing 3	9"5/8	4066	4066			EOK3
						3400

DEVTECH - JM JOUBERT 2008



KOP : profondeur de départ de la section déviée  
 DEV : angle de build-up  
 EOK : base de la section déviée  
 INCL : inclinaison moyenne en section stabilisée

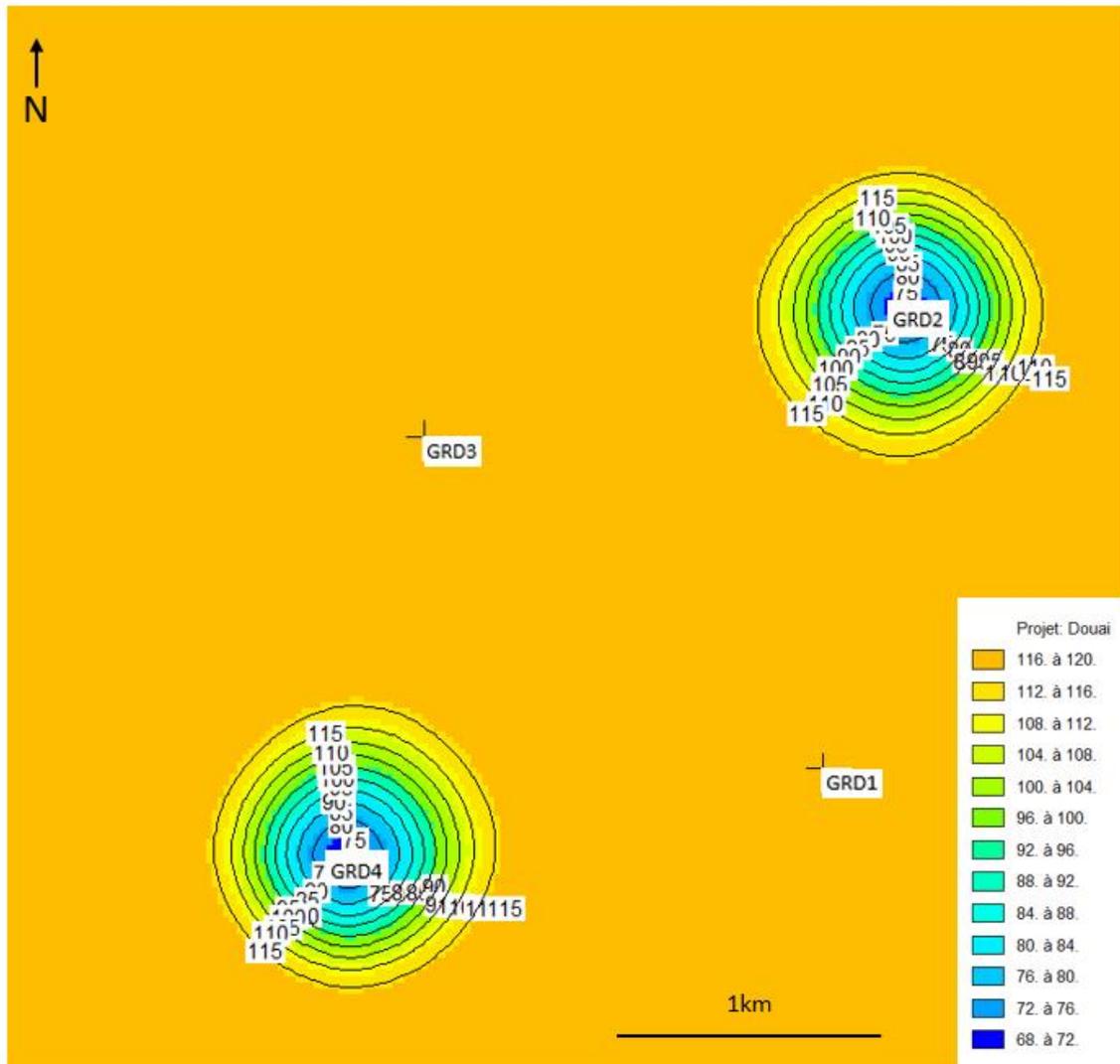
MD : longueur en mètres forés  
 TVD : profondeur verticale  
 DEP : déport latéral par rapport à la tête de forage  
 AZIM : orientation du plan vertical de déviation

Figure 9 – Coupe prévisionnelle d'un des ouvrages

Une modélisation hydrodynamique et thermique du réservoir du Carbonifère a été réalisée afin de simuler l'impact des forages des deux doublets (un exemple de résultat pour la simulation des

températures après 30 ans d'exploitation est proposé en Figure 10). Les principales caractéristiques qui ont été prises en compte dans le dimensionnement du projet géothermique au Carbonifère sont les suivantes :

- Température moyenne de réinjection : 70°C
- Débit max exploitable : environ 480 m<sup>3</sup>/h, soit 240 m<sup>3</sup>/h par doublet
- Débit moyen annuel d'exploitation : 140 m<sup>3</sup>/h par doublet



**Figure 10 – Panaches de température (en °C) simulés au niveau des différents puits au Carbonifère**

Les modélisations thermiques et hydrodynamiques montrent que pour la productivité minimale permettant de satisfaire les objectifs du projet, le schéma minier proposé :

- Permet de faire coexister deux doublets sans interférence thermique ou hydraulique notable ;
- N'est pas excessivement sensible à l'éventuelle présence de failles étanches mise en évidence par les études sismiques réalisées lors des phases de faisabilité du projet ;
- Est robuste vis-à-vis d'un amincissement des niveaux producteurs par rapport aux hypothèses retenues.

- Est robuste vis-à-vis de l'intervention potentielle du rôle des différents puits (producteurs ou injecteurs). En fonction des résultats des pompages d'essais, il pourra en effet être opportun d'utiliser comme injecteurs, les ouvrages les moins productifs.

# Evaluation des impacts du projet

Les présentes demandes d'autorisation de recherche de gîte géothermique profond au Carbonifère et d'ouverture des travaux miniers sont accompagnées d'une étude d'impact environnemental du projet qui concerne les phases de travaux et d'exploitation. L'étude est disponible au chapitre 5.

Tout d'abord, l'analyse de l'état initial du site et de son environnement a permis de dégager les principaux enjeux environnementaux. La synthèse de ces enjeux est décrite dans le tableau ci-après.

	Enjeu nul ou négligeable
	Enjeu faible
	Enjeu modéré
	Enjeu fort

**Tableau 1 – Synthèse des enjeux du projet principales mesures d'évitement, de réduction et de compensation qui seront mises en œuvre**

Thème	Constats	Intensité de l'enjeu
<b>Milieu physique</b>		
Climat	Le site d'étude n'est pas situé dans un environnement de conditions climatiques extrêmes.	Faible
<p><b>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.</b>  <b>Mesures d'évitement :</b> Contrôle réglementaire des éventuelles pompes à chaleur. Recours à des fluides frigorigènes spécifiques de type HFO (hydrofluoroléfine). Interdiction de brûler des déchets sur chantier, ...  <b>Mesures de réduction :</b> vitesse de circulation limitée sur le chantier. Raccordement électrique potentiel de l'appareil de forage. Sensibilisation du personnel aux écogestes du quotidien, ...  <b>Mesures de compensation :</b> Sans objet</p>		
Qualité de l'air	Le site d'étude est situé dans un environnement où la qualité de l'air est relativement bonne.	Faible
<p><b>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.</b>  <b>Mesures d'évitement :</b> Sans objet  <b>Mesures de réduction :</b> Vitesse réduite des véhicules. Arrosage au besoin des zones de terrassement pour limiter l'envol des poussières. Entretien régulier des engins. Injection d'eau de javel pour empêcher la diffusion d'H<sub>2</sub>S pendant les phases de test en forage. Contrat anti-éruption en phase exploitation. Utilisation de capteurs H<sub>2</sub>S et disponibilité de masques à cartouches régénérables par le personnel, équipements ARICO pour le personnel. Balisage des sorties d'évacuation d'urgence du chantier, etc...  <b>Mesures de compensation :</b> Sans objet</p>		
Sol et sous-sol	Le site d'étude est situé à une altitude d'environ +33 m NGF et dans une zone urbanisée présentant de nombreuses structures routières. L'usine Renault est un site BASOL. Aucun site BASIAS n'est référencé au droit du projet mais un site est situé à moins de 1 km du projet.	Faible
<p><b>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.</b>  <b>Mesures d'évitement :</b> Mise en place de bacs de rétention adaptés, de surfaces bâchées bétonnées pour le stockage de produits dangereux. Les zones d'activités seront étanches. Emploi d'huiles végétales et non polluantes pour le décoffrage du béton. Sensibilisation du personnel à la préservation de l'environnement. Mise en place d'un séparateur à hydrocarbure sur la plateforme de forage. Mise en place des réseaux de chaleur selon</p>		

<p>les règles de l'art. Diagnostic amiante en amont de la phase travaux. Vérifications régulières de l'étanchéité des réseaux de collecte des eaux usées et pluviales, ...</p> <p><b>Mesures de réduction :</b> Nettoyage des engins de chantier et des voiries souillées. Réutilisation d'une partie des terres excavées lors de la réalisation des tranchées. Mise en œuvre d'une procédure d'urgence « pollution », ...</p> <p><b>Mesures de compensation :</b> Sans objet</p>		
Eaux souterraines	Projet situé dans le périmètre de protection d'un captage AEP.	<b>Fort</b>
<p>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.</p> <p><b>Mesures d'évitement :</b> idem que pour les sols et sous-sol. Mise en place d'une plateforme en béton hydrofuge empêchant l'infiltration dans le sol. Pas d'utilisation de « boue à huile » ...</p> <p><b>Mesures de réduction :</b> Architectures des puits normées. Isolement des aquifères par cimentation des annulaires. Contrôle périodique des tubages par diaggraphie. Mise en place d'une triple protection au droit des aquifères sensibles. Formulation de boues de forage spécifiques pour éviter les pertes et contaminations. Suivi réglementaire pendant toute la durée de vie des ouvrages. Contrat anti-éruption en phase exploitation, ...</p> <p><b>Mesures de compensation :</b> Sans objet</p>		
Eaux superficielles	La commune est traversée par le canal de la Scarpe. Il est situé à environ 2km de la zone de forage	<b>Modéré</b>
<p>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.</p> <p><b>Mesures d'évitement :</b> Aucune boue à l'huile ne sera utilisée en phase forage. Les zones d'activités du site seront étanches (goudronnées ou bétonnées). Stockage des matières polluantes sur des rétentions adaptées. Séparateur d'hydrocarbure et rétention au niveau du point de collecte des eaux de ruissellement avant rejet dans le réseau d'eau pluviale. Refroidissement à 30°C des eaux avant rejet dans le réseau d'assainissement, ...</p> <p><b>Mesures de réduction :</b> Architectures des puits normées. Formulation de boues de forage spécifiques pour éviter les pertes et contaminations. Suivi réglementaire pendant toute la durée de vie des ouvrages. Contrat anti-éruption en phase exploitation. Vérification régulière de l'étanchéité des réseaux, ...</p> <p><b>Mesures de compensation :</b> Sans objet</p>		
Paysage	Site localisé sur un terrain privé.	<b>Faible</b>
<p>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.</p> <p><b>Mesures d'évitement :</b> Les têtes de puits et les réseaux de chaleur ne seront pas visibles en phase exploitation car enterrés, ...</p> <p><b>Mesures de réduction :</b> éclairages de nuit dirigés vers le chantier. Zones de stockage mise en place à l'intérieur du chantier. Maintien de l'état de propreté du chantier. Nettoyage régulier des voiries. Le style architectural et le choix des matériaux seront en adéquation avec l'environnement de la centrale. La volumétrie du bâtiment sera la plus compacte possible, ...</p> <p><b>Mesures de compensation :</b> Sans objet</p>		
Risques naturel	Le site de forage n'est pas concerné par un l'aléa du retrait-gonflement des sols argileux. Zone de sismicité 2-3 (faible à modéré). Le site de forage est exempté du risque d'inondation par ruissellement. Commune soumise à un plan de prévention des risques naturels.	<b>Modéré</b>
<p>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.</p> <p><b>Mesures d'évitement :</b> Réalisation de sondages géotechniques de reconnaissance, cimentation des tubages, ...</p> <p><b>Mesures de réduction :</b> Constructions réalisées en respectant les « bonnes pratiques », ...</p> <p><b>Mesures de compensation :</b> Sans objet</p>		
<b>Milieu naturel</b>		
Espaces naturels et continuités écologiques	Aucun site Natura 2000, ZNIEFF, ENS, PNR, RNR, RNN, APPB, ZICO, zone humide à proximité du projet. Le site n'est pas identifié comme une zone humide que ce soit sur critères pédologiques à l'issu de sondages à la tarière, ou sur critères floristiques. Le site n'est pas situé dans un réservoir de biodiversités.	<b>Faible</b>

<p>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.  <b>Mesures d'évitement</b> : Evitement dans la mesure du possible l'abattage d'un ou de plusieurs groupes d'arbres dans l'emprise de travaux avec mise en défense des arbres conservés. Optimisation de l'emprise de chantier afin de réduire l'emprise de la zone de travaux. Réduction de la plateforme à son minimum au cours de la phase d'exploitation...  <b>Mesures de réduction</b> : Remise en état des sols par décompactage profond, ...  <b>Mesures de compensation</b> : Sans objet</p>		
Faune, Habitats et flores	Quelques espèces protégées au niveau de la commune.	Faible
<p>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.  <b>Mesures d'évitement</b> : Sans objet  <b>Mesures de réduction</b> : Sans objet  <b>Mesures de compensation</b> : Sans objet</p>		
<b>Milieu humain</b>		
Caractéristiques socio-économiques	Premières habitations situées à près d'un kilomètre. Etablissements accueillant du public, situés à près d'un kilomètre. Commune soumise au SAGE du Scarpe Amont	Faible
<p>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.  <b>Mesures d'évitement</b> : Sans objet  <b>Mesures de réduction</b> : Limitation des circulations de véhicules et définition des sens de circulation sur le chantier pour limiter l'usage des avertisseurs de recul. Eloignement dans la mesure du possible des équipements et activités bruyantes des riverains. Placement des pompes, groupes électrogènes au sein d'un capotage à structure rigide permettant un affaiblissement acoustique. Mise en place d'écrans acoustiques d'une hauteur de 6 m et de bâches acoustiques proche des équipements bruyants. Aménagement des horaires des tâches bruyantes en fonction des riverains, ...  <b>Mesures de compensation</b> : Sans objet</p>		
Réseaux et urbanisme	Canalisation de gaz à proximité pour alimenter l'usine. Présence de servitudes d'utilités publiques liées aux lignes de haute-tension et lignes ferroviaires.	Faible
<p>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.  <b>Mesures d'évitement</b> : Consultation des gestionnaires de l'ensemble des réseaux avant les travaux de forage  <b>Mesures de réduction</b> : Sans objet  <b>Mesures de compensation</b> : Sans objet</p>		
Patrimoine culturel et architectural	Aucun site classé et inscrit à proximité du projet. Aucun site patrimonial remarquable à proximité du projet. Aucun monument historique à proximité du projet. Aucun site archéologique à proximité du projet.	Faible
<p>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.  <b>Mesures d'évitement</b> : Sans objet  <b>Mesures de réduction</b> : Sans objet  <b>Mesures de compensation</b> : Sans objet</p>		
Transport et circulation	Trafic modéré des voies de circulation (A1 : 80 000 véh./jour, D950 : 18 000 véh./jour et D621 : 24 000 véh./jour).	Faible
<p>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.  <b>Mesures d'évitement</b> : Sans objet  <b>Mesures de réduction</b> : Un schéma de circulation des engins sera établi. Les projecteurs utilisés de nuit seront orientés de manière à supprimer tout risque d'éblouissement. Les engins seront équipés d'éclairage suffisant</p>		

<p>pour assurer les conditions de sécurité lorsque la luminosité naturelle est insuffisante. Mise en place de panneaux routiers de chantier informant les usagers de la route de la sortie d'engins de chantier. Contrôle du stationnement des véhicules aux abords du chantier, ...</p> <p><b>Mesures de compensation : Sans objet</b></p>		
<p>Commodité du voisinage</p>	<p>Présence de réseaux routiers à proximité. Présence de réseaux ferroviaires à proximité Habitations localisées à près d'un kilomètre du projet.</p>	<p><b>Modéré</b></p>
<p>Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.</p> <p><b>Mesures d'évitement :</b> Livraison de matériel uniquement en journée pendant le chantier. Respect des dispositions constructives en matière d'acoustique. Installation des équipements bruyants à l'intérieur du bâtiment en phase exploitation, ...</p> <p><b>Mesures de réduction :</b> Recours privilégié au raccordement électrique de l'appareil de forage. Capotage du treuil et des pompes. Les tâches les plus bruyantes comme les cimentations ne seront pas réalisées de nuit. Un point de monitoring sera installé sur le chantier pendant toute la phase travaux de forage. Limitation des circulations de véhicules et définition des sens de circulation sur le chantier pour limiter l'usage des avertisseurs de recul. Eloignement dans la mesure du possible des équipements et activités bruyantes des riverains. Mise en place de panneaux avec bâches acoustiques. Aménagement des horaires des tâches bruyantes en fonction des riverains, ...</p> <p><b>Mesures de compensation : Sans objet</b></p>		

L'impact sur le milieu environnant des doublets géothermiques et de la centrale est peu important : le projet est situé en milieu périurbain et ne présente pas de sensibilité floristique ou faunistique significative. Quand bien même, il se situe sur un secteur reconnu pour son intérêt écologique sur le territoire commun, il est en dehors :

- D'un parc naturel régional ou national ;
- D'une réserve naturelle ou d'un arrêté de protection de biotope ;
- De zone d'intérêt communautaire pour la protection des oiseaux (ZICO) ;
- De zone Natura 2000 (zones de protection spéciale et sites d'importance communautaire) ;
- De ZNIEFF 1 et 2 (zones d'intérêt écologique, floristique et faunistique) ;
- De zone de protection de patrimoine architectural urbain et paysager (ZPPAUP) ;
- De sites inscrits ou classés, de zone de protection de patrimoine architectural.

Le projet est en revanche dans le périmètre de protection éloigné du champ captant AEP d'Esquerchin.

Des mesures spécifiques seront prises pour empêcher tout impact du projet sur les **eaux superficielles et souterraines**. Elles comprendront à minima les précautions suivantes :

- Pendant la phase forage, l'atelier de forage est installé sur une plate-forme qui empêche toute infiltration dans le sol. La plateforme est construite avec un maillage de caniveaux (notamment autour de la foreuse) en légère pente canalisant les eaux de ruissellement du chantier vers un même point.
- Les cuves de fuel alimentant les moteurs diesel sont munies de cuves de rétention d'un volume égal au volume stocké.
- Un séparateur à hydrocarbures, ainsi qu'une rétention de 10 m<sup>3</sup> seront mis en place au niveau du point de collecte des eaux de ruissellement, avant rejet dans le réseau d'eau pluviale.
- Le rejet de l'eau géothermale dans le réseau d'assainissement de Renault ne se fait qu'après refroidissement à 30°C.
- Le refroidissement se fera par plusieurs moyens :
  - Passage dans une tour de refroidissement à convection d'air forcé ;

- Passage dans des bacs de stockage, où se fera un échange thermique avec l'atmosphère ;
- En cas de difficultés liées à un éventuel artésianisme, le puits sera maîtrisé avec une saumure. De plus, l'entreprise de forage mettra en place un Bloc Obturateur de Puits (BOP) permettant de contrôler le forage en toute circonstance.
- Il ne sera pas utilisé de « boues à l'huile » (contenant des hydrocarbures), qui sont parfois utilisées dans des forages pétroliers, notamment pour éviter l'hydratation de certains bancs argileux ou pour réduire le filtrat.

Pour éviter la mise en communication artificielle des niveaux aquifères entre eux, les horizons aquifères seront isolés par tubages cimentés aux terrains, de façon à éviter toutes communications entre les différentes zones perméables régionalement isolées.

Une attention particulière sera accordée aux diverses cimentations, qui sont exécutées par des équipes spécialement entraînées. L'annulaire est calculé pour permettre une parfaite circulation du laitier. La cimentation sera contrôlée par un test d'étanchéité et par une diagraphie spécifique.

Pour améliorer la protection, il sera mis en place des tubages en acier étiré sans soudure, de nuance K55 ou N80, assemblés par vissage. En outre, l'épaisseur de ces tubages est choisie de manière à leur assurer une durée de vie prolongée.

La corrosion de la face interne des tubages sera ralentie, le cas échéant, par l'injection d'un inhibiteur. La permanence du film sera vérifiée en continu au moyen d'une sonde de contrôle rétractable en tête de puits.

Le projet est **conforme avec le SDAGE Artois-Picardie (Escaut, Somme et côtiers Manche et Mer du Nord), le SAGE de la Scarpe Amont et le SAGE de la Scarpe Aval (les deux SAGE sont concernés pour les demandes d'autorisation de recherche) et avec le PLU en vigueur sur la commune de Cuincy.**

Enfin, des mesures d'accompagnement spécifiques liées aux nuisances sonores seront mises en place.

# Géothermie et risque sismique

Le mémoire complet sur la sismicité induite est présenté en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Le paragraphe qui suit en résume les principales conclusions.

La sismicité naturelle de la région de Douai est relativement faible. Sur le zonage sismique introduit en 2011, le secteur de Douai est classé en zone de sismicité faible (note de 2 sur 5).

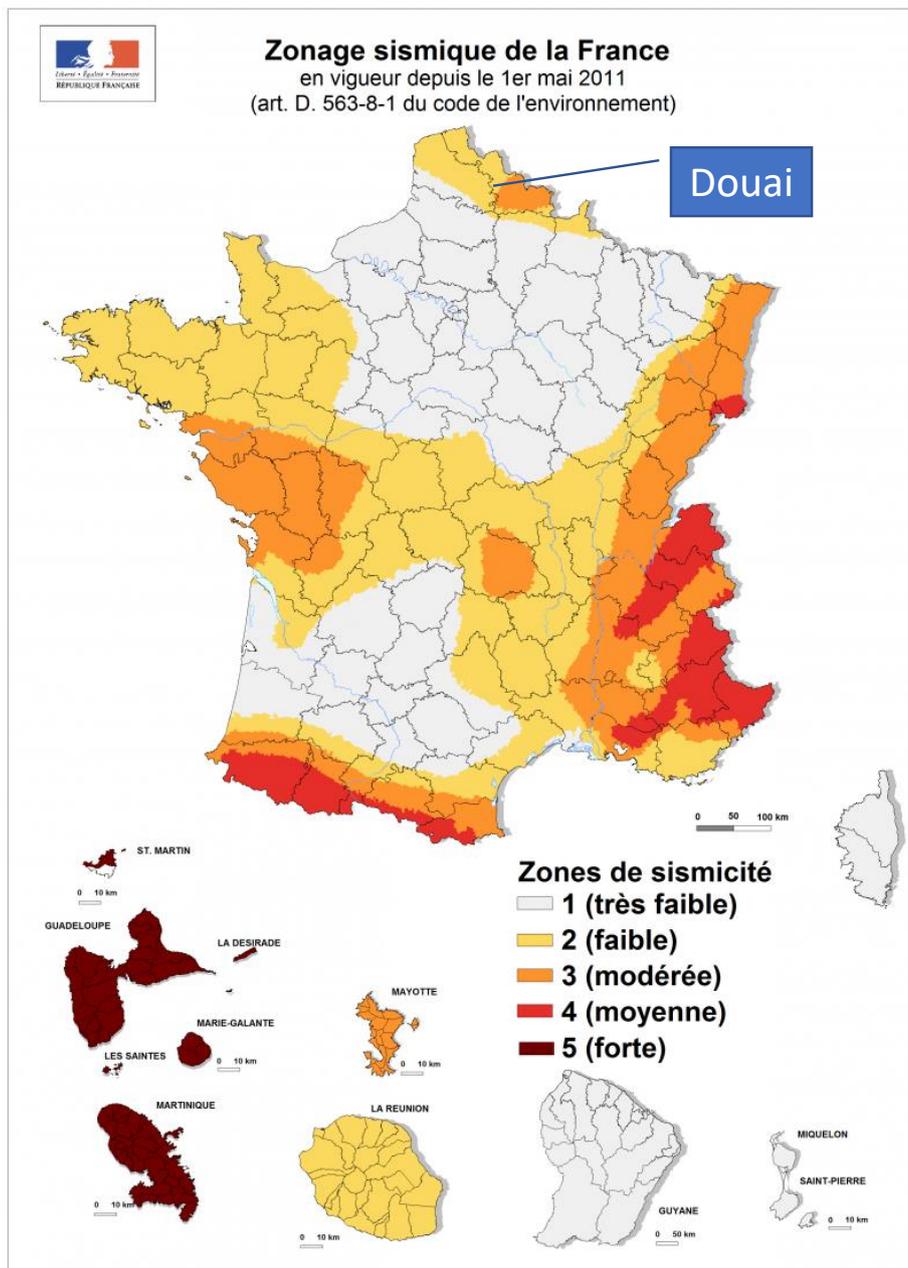
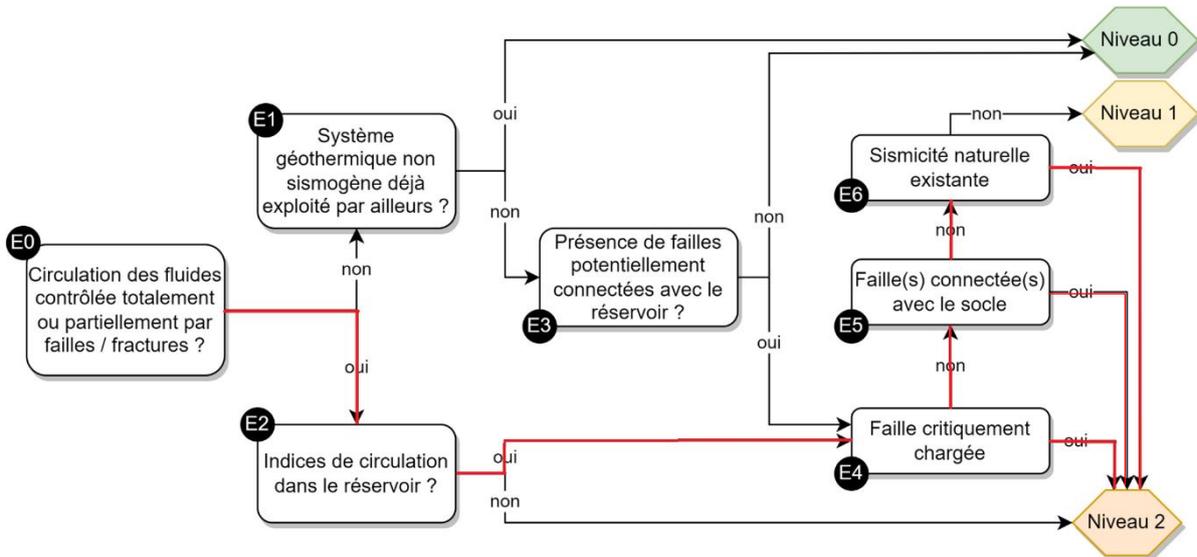


Figure 11 – Zonage sismique tiré du Code de l'Environnement

La première évaluation de l'aléa sismique intervient avant le début du premier forage : c'est l'évaluation initiale. Elle doit être réalisée au moment de la demande d'ouverture de travaux miniers (DAOTM). La Figure 12 représente un arbre de décision qui permet d'évaluer l'aléa initial pour le projet de Douai.



**Figure 12 : Arbre de décision pour l'évaluation initiale du niveau d'aléa du projet de Douai (source : INERIS & BRGM)**

Un niveau 2 d'aléa sismique peut être retenu. Ce niveau représente le scénario le plus pessimiste au regard des données et informations existantes à ce stade.

E0 : La circulation des fluides est contrôlée en partie par des failles et des fractures. Il s'agit donc d'un système géothermique de contrôle mixte. Les calcaires du Carbonifère possèderaient une porosité matricielle d'environ 8% (d'après le forage de Jeumont) et l'analyse de la zone a révélé la présence de failles importantes. A cela peuvent s'ajouter les propriétés de karstification intrinsèques des calcaires.

E2 : il y a des indices de circulations de fluide dans le réservoir, expliqués notamment avec le modèle hydrogéologique conceptuel et la structure de la zone d'étude.

E4 : Aucun élément ne permet de statuer de manière certaine sur le chargement critique des failles. En l'absence d'information précise, les deux chemins de l'arbre de décision peuvent être envisagés. Le résultat reste le même in fine.

E5 : Les failles pourraient être connectées au socle. L'analyse tirées des figures de la thèse de A. Laurent, 2021 indiquent que les failles structurantes de la zone qui délimitent le réservoir du Carbonifère pourraient être connectées avec le socle. Le travail sur les données sismiques produit spécifiquement pour le projet de Douai n'indique aucune connexion avec le socle (cf. rapport CDP Consulting, 2023). L'éventuelle connexion des failles avec le « socle » ne remettrait pas en question le niveau d'aléa du projet de Douai.

E6 : D'après les bases de données, la sismicité naturelle est faible dans le secteur mais pas inexistante. Cet aléa sismique au niveau 2 prend en compte le scénario le plus pessimiste puisque l'état de chargement des failles est peu connu et que l'aléa sismique naturel reste très faible. Une réévaluation future pourrait abaisser l'aléa sismique à un niveau inférieur.

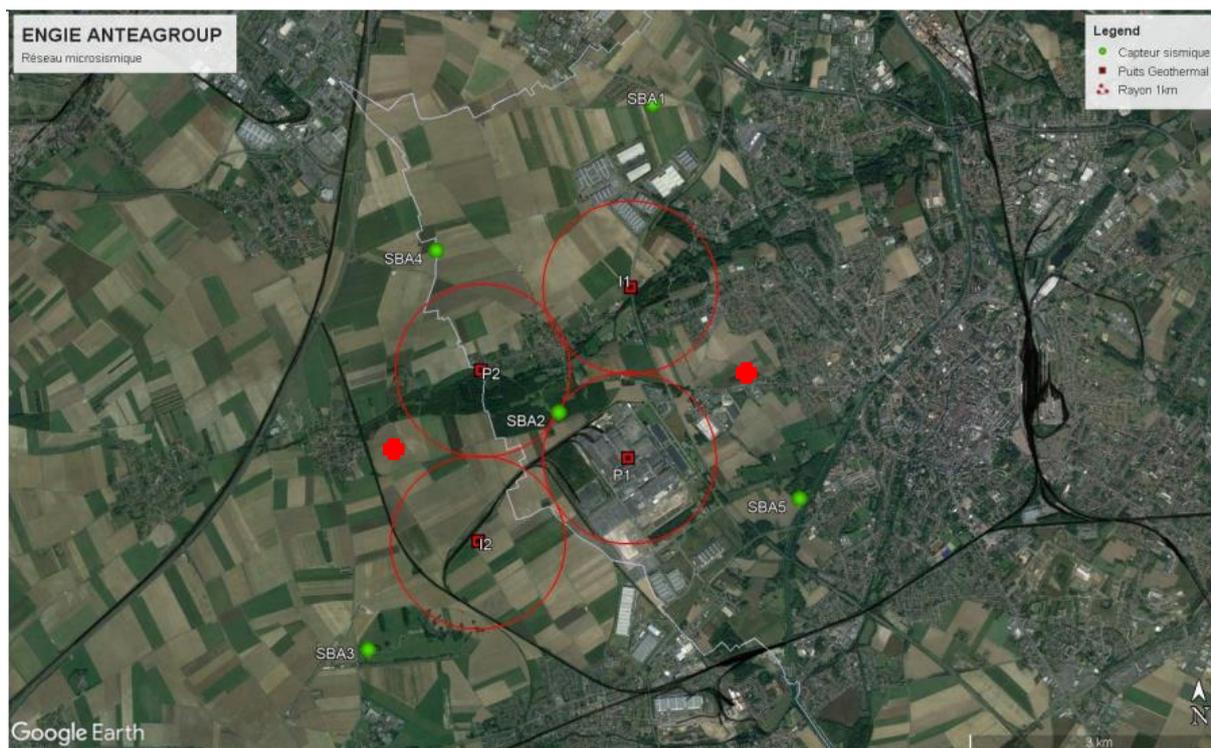
Il convient donc de mettre en place des mesures correctives et préventives au regard de ce risque au cours des différentes phases d'exploration et d'exploitation du projet.

ENGIE Energie Services a missionné l'entreprise Backer Hughes (Microseismic Services) pour dimensionner un système de surveillance microsismique du projet de Douai. Les objectifs poursuivis sont :

- Effectuer une surveillance 6 mois avant le début des activités de forage pour établir la ligne de base ;
- Détecter en continu tous les événements de magnitude supérieure à 0.5 pendant les phases de forage ;
- Détecter en continu tous les événements de magnitude supérieure à 1 pendant les phases de d'exploitation ;
- Donner accès en temps réel aux données et archiver ces dernières ;
- Fournir une solution TLS (« Traffic Light System ») basée sur la magnitude et/ou le PGV (« Peak Ground Velocity »).

Le dispositif de surveillance prévu est décrit ci-après. Chaque position de station a fait l'objet des contrôles suivants :

- La réception mobile ;
- Le niveau de bruit sismique ambiant ;
- Les accès pour une machine de forage ;
- Le positionnement d'une installation microsismique.



**Figure 13 – Position des 7 stations de surveillance projetées, les points verts correspondent aux stations enterrées et les croix rouges aux capteurs de surface (source : Baker Hughes)**

Il est prévu d'installer ces 5 capteurs sismiques à 99 m de profondeur car la zone est urbanisée et de nature bruyante, ce qui pourrait atténuer la sensibilité des capteurs. 2 capteurs de surface sont ajoutés aux 5 enterrés pour respecter « le guide des bonnes pratiques » rédigé par l'INERIS et le BRGM. Par ailleurs, le dispositif comprendra au moins un accéléromètre et les capteurs seront triaxiaux comme préconisé dans le guide.

Les retours d'expérience des projets de Balmatt à Mol (Belgique), Geoven près de Strasbourg permettent également de situer le risque de sismicité induite du projet de Douai au regard de ces projets. Par ailleurs, le projet géothermique de Mons, en Belgique, localisé à 70 km à vol d'oiseau du projet de Douai ne montrent pas d'indice de sismicité induite.

- Projet de Balmatt : bien que les roches exploitées soient du même âge géologique entre Douai et Mol, il convient de dissocier l'aléa de sismicité induite entre les deux projets. La structure du système n'est pas identique à Mol et à Douai. Contrairement à Mol, au niveau de Douai, les failles ne sont pas connectées avec le socle et sont scellées par le recouvrement sus-jacent (de l'ordre de 4000 m de recouvrement).
- Projet Geoven : le projet se situe dans un contexte géologique très différent de celui de Douai. En effet, le réservoir géothermique du fossé rhénan est un réservoir de socle granitique. Ce type d'opération peut engendrer une grande instabilité dans la roche et ainsi provoquer sa rupture. De plus, cette fracturation intervient dans un contexte d'instabilité préexistante inhérente au socle lui-même. En effet, en plus d'être traversé par de grandes fractures, le socle est ancien et plus instable que des roches plus jeunes et moins matures lithologiquement. Le réservoir des calcaires du Carbonifère de Douai est naturellement poreux et perméable et il ne se situe pas directement dans le socle. Il repose dessus sans discordance et il n'y a pas de failles majeures qui l'y connecte directement.
- Projet de Mons : Trois puits profonds ont été forés dans le cadre de l'exploitation du réservoir, les puits de Ghlin, Saint Ghislain et de Douvrain. L'exploitation géothermique du Carbonifère est en cours depuis 1985 (sans réinjection toutefois, et avec des niveaux producteurs situés entre 1500 et 2500 m de profondeur), sans que le moindre incident sismique n'ait été à déplorer (d'après l'Observatoire royal de la Belgique – Séismologie-Gravimétrie, aucun événement sismique de type tremblement de terre ou événement induit n'a été recensé dans la région de Mons depuis 2015).

Le contexte lithologique, géodynamique et les retours d'expérience de projets comme GEOVEN en Alsace ou Balmatt en Belgique permettent de définir un niveau d'aléa sismique induit très inférieur pour le projet de Douai, du fait des propriétés intrinsèques du réservoir et son état structural. De plus, la proximité géographique ainsi que les similitudes géologiques laissent à penser que le réservoir de Douai aura un comportement similaire à celui de Mons. Ce dernier n'a pas montré de signe de sismicité induite.

## Annexe 2 : MeF des résultats

Référence origine	Unités	Valeurs de référence (Lysine)	ISO1	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		S9		S10		S11		S12		S13		S14		S15		S16		Teneur MAX		
				0-0,8	1-1,5	2-2,5	0-0,8	1-1,5	2-2,5	0-0,8	1-1,5	1,5-2	0-0,8	1-1,5	2-2,5	0-0,8	1-1,5	2-2,5	0-0,8	1-1,5	2-2,5	0-0,8	1-1,5	2-2,5	0-0,8	1-1,5	2-2,5	0-0,8	1-1,5	2-2,5	0-0,8	1-1,5	2-2,5	0-0,8	1-1,5		2-2,5	
ANALYSES SUR BRÛLÉ																																						
COT (Carbone Organique Total)			mg/kg MS	30 000	4460		6740		7930		4420				9160		3990		4710		7100				13900		6570		8960		8930		6220		2800		19900	
MÉTALUX																																						
antimoine	mg/kg MS	1,72																																			3,15	
arsenic	mg/kg MS	2,9																																			10,9	
barium	mg/kg MS	1,6																																			107	
cadmium	mg/kg MS	0,39																																			1,05	
chrome	mg/kg MS	28,23																																			35,3	
cuivre	mg/kg MS	24,42																																			19,9	
nickel	mg/kg MS	1,6																																			31,6	
plomb	mg/kg MS	11,19																																			55,6	
sélénium	mg/kg MS	1,6																																			0	
zinc	mg/kg MS	101,3																																				117
mercure	mg/kg MS	0,32																																			2,36	
COMPOSÉS AROMATIQUES VOLATILS																																						
benzène	mg/kg MS	1,0																																				0
toluène	mg/kg MS	1,0																																			0	
éthylbenzène	mg/kg MS	1,0																																			0	
oxytoluène	mg/kg MS	1,0																																			0	
styrène	mg/kg MS	1,0																																			0	
styrène et méthylstyrène	mg/kg MS	6																																			0	
BTX totaux	mg/kg MS	1,0																																			0	
HYDROCARBURES TOTAUX																																						
HCT (CS C10 total)	mg/kg MS	1,0																																				
HCT (C10 - nC10)	mg/kg MS	1,0																																				
HCT (n-C10 - nC10)	mg/kg MS	1,0																																				
HCT (n-C10 - nC10)	mg/kg MS	500																																				
hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg MS	1,0																																				
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES																																						
fluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
fluorène	mg/kg MS	1,0																																				
phénanthrène	mg/kg MS	1,0																																				
pyrène	mg/kg MS	1,0																																				
benzo(a)anthracène	mg/kg MS	1,0																																				
chrysenes	mg/kg MS	1,0																																				
indène (1,2,3-cis) Pyrene	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
acénaphtène	mg/kg MS	1,0																																				
fluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				
benzofluoranthène	mg/kg MS	1,0																																				

## Annexe 3 : Localisation des sondages





Acteur majeur de l'ingénierie de l'environnement et de la valorisation des territoires

### Mesure

Air ambiant  
Air intérieur  
Exposition professionnelle  
Eau  
Pollution atmosphérique

### Environnement

Due diligence et conseil stratégique  
Sites et sols pollués  
Travaux de dépollution  
Dossiers réglementaires



Nos services

### Eau

Traitement des effluents industriels  
Eau ressource et géothermies  
Eau potable et assainissement  
Aménagement hydraulique

### Data

Système d'information et data management  
Solutions pour le data management environnemental

### Infrastructure

Déconstruction et désamiantage  
Géotechnique  
Fondations et terrassements  
Ouvrage et structure  
Risques naturels  
Déchets et valorisation

### Aménagement du territoire

Projet urbain  
L'environnement au cœur des stratégies et projet  
Stratégie territoriale et planification

Antea Group est certifié :



[www.lne.fr](http://www.lne.fr)