

5 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET GEOTHERMIQUE ET MESURES COMPENSATOIRES

Le présent chapitre décrit, à l'échelle du périmètre du permis, les impacts potentiels du projet sur le milieu physique, naturel et humain, qu'ils soient positifs ou négatifs ainsi que les mesures d'évitement, d'atténuation et de compensation envisagées. L'ensemble des phases du projet sont prises en compte : l'exploration, les travaux, l'exploitation jusqu'à la remise en état du site.

Le site d'implantation précis du doublet n'étant pas défini, cette analyse des impacts et des mesures associées est une première étape pour identifier les enjeux potentiels sur l'ensemble de la zone. Dans le cadre de la demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers de forage (AOTM), une étude d'impact détaillée et spécifiée relative à l'implantation des centrales géothermiques et des puits sera réalisée par un bureau d'études spécialisé.

Au-delà des considérations générales décrites ci-après, le demandeur s'engage à respecter l'ensemble des prescriptions de sécurité spécifiques aux activités de l'Aéroport Marseille Provence et d'Airbus Helicopters.

En application du décret du 25 février 1993 modifié relatif aux études d'impact, nous distinguerons :

- Les effets directs par opposition aux effets indirects : ces derniers s'entendent comme extérieurs au site de l'opération et dont l'importance et la nature sont moins faciles à appréhender ;
- Les effets temporaires par opposition aux effets permanents : ils correspondent aux impacts limités dans le temps (il s'agit notamment des impacts liés à la phase de travaux) opposés à ceux qui découleront de la réalisation du projet dans sa globalité (pour la phase d'exploitation).

L'ouverture de travaux de recherches et d'exploitation est soumise à une autorisation d'ouverture de travaux miniers au titre de l'article L.162-1 du Code minier. Depuis le 1er janvier 2023, cette autorisation est intégrée dans le régime de l'autorisation environnementale prévu à l'article L.181-1 du code de l'environnement. Ainsi, le demandeur devra déposer une demande d'autorisation accompagnée d'un dossier complémentaire spécifique aux travaux miniers.

1 Impacts potentiels et leurs mesures en milieu naturel

La plupart des impacts environnementaux potentiels de la production géothermale a lieu lors des étapes amonts, lors du forage et de la construction des installations.

5.1.1 Impacts potentiels sur le paysage, la faune et la flore

L'emprise de recherche est concernée en partie par des espaces protégés, (ZNIEFF, Natura 2000, etc.). Le choix du futur site d'implantation du projet sera donc essentiel pour éviter les impacts sur la faune et la flore, notamment au vu de la présence d'espèces protégées qui ont été inventoriées sur le périmètre du permis.

Ces espèces concernent plusieurs taxons dont les oiseaux, les chiroptères, les reptiles, les amphibiens ou encore les insectes. Lorsque la localisation du site géothermique sera précisément déterminée, l'étude d'impact permettra d'en affiner les enjeux.

5.1.1.1 Impacts temporaires

Durant les phases de travaux et d'exploration, les nuisances sonores et vibrations générées par les différents engins motorisés seront susceptibles de perturber la faune environnante. De plus, les aménagements de chantier tels que les infrastructures, les parkings mais aussi la création de voies de circulation, seront également des perturbations pour la faune et la flore du fait de leur empreinte au sol engendrant des pertes d'habitats.

La réalisation d'investigations géophysiques par des méthodes sismiques ou encore de prospection électrique est envisagée dans le cadre de la phase d'exploration. Les principaux impacts de ces travaux se limitent aux dommages causés par le passage de véhicules, tels que des camions vibrateurs ou des véhicules tout-terrain, sur la zone de recherche. L'émission d'ondes acoustiques pendant une durée de 10 à 20 secondes par prospection sismique sont des perturbations sonores brèves dont on peut supposer que leurs conséquences sur la faune seront limitées à du dérangement. Ces investigations sont réalisées sur une durée allant de quelques jours à plusieurs semaines.



Figure 119 : Le convoi de camions vibrateurs sonde le sous-sol de la Limagne en Puy-de-Dôme, « Source : LA MONTAGNE, 2017 »

Pendant la phase travaux, les impacts sur la faune et la flore seront principalement limités aux environs immédiats du site. Lors de l'implantation de la centrale, le potentiel défrichement et la mise en place de chemins d'accès engendreront des pertes d'habitats. De plus, le sol mis à nu peut subir de l'érosion en cas de fortes précipitations. Afin d'éviter le ruissellement, qui est l'écoulement à la surface du sol des eaux de pluie, des aménagements pourront être prévus.

Durant les travaux de forage, le chantier sera éclairé de jour comme de nuit. Cet éclairage peut être à l'origine de dérangements pour diverses espèces avec des mouvements d'attractions ou au contraire de répulsions. Cela concernera en particulier les espèces nocturnes.

Les impacts des travaux sur la faune et la flore seront essentiellement dépendants du lieu d'implantation final du projet. Nous pouvons nous attendre à ce qu'ils soient

fortement limités si le projet s'implante dans une des zones déjà urbanisées.

5.1.1.2 Impacts permanents

La mise en service de l'installation peut entraîner des nuisances sonores notamment avec les différents équipements électriques, hydrauliques. Les niveaux sonores émis sont détaillés dans la Section Nuisances sonores. Ces nuisances sonores constituent des perturbations pour la faune environnante et le voisinage. Elles pourront être atténuées en les mettant, par exemple, sous couvert ou en insonorisant les équipements les plus bruyant ainsi qu'en concevant une centrale géothermique parfaitement insonorisée.

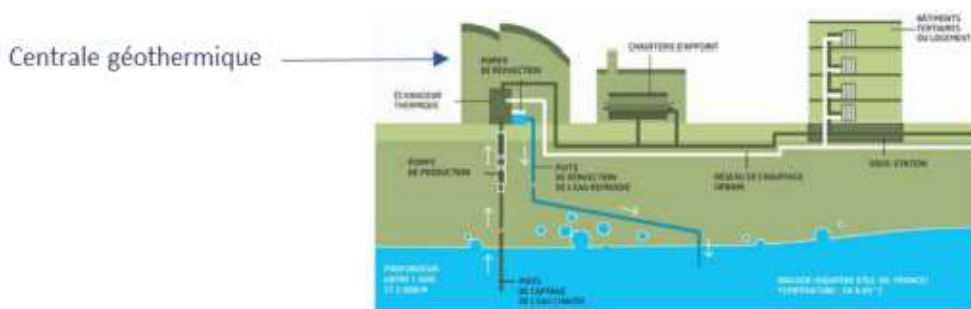


Figure 120 : Schéma synthétique d'une exploitation sur l'aquifère du Dogger en Ile-de-France (Source : révolution énergétique, 2020)

L'impact sur le paysage est faible car les équipements seront enterrés à l'exception de la centrale (Figure 117). En effet, la tête de puits, les canalisations calorifugées, les câbles électriques de puissance et de contrôle ainsi que les équipements liés à leur mise en service seront en sous-sol recouvert par une dalle. Ce site sera clos et interdit au public.

5.1.2 Impacts potentiels sur le sol

5.1.2.1 Impacts temporaires

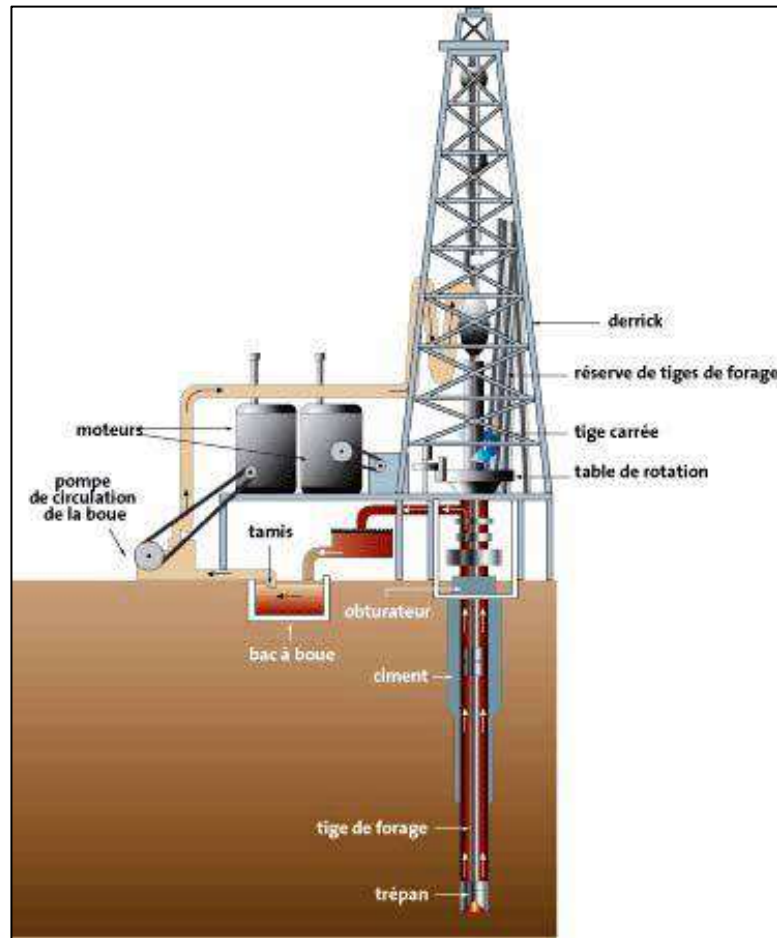


Figure 121 : Schéma général d'une plateforme de forage (Source : BRGM)

La principale occupation du sol pendant la partie travaux est au niveau de la plateforme de forage. Elle comprend le plancher de forage, le pont, les bacs à boues, la mixing area, le système de traitements des solides, l'unité de cimentation, le laboratoire à boues, le quartier et bureaux, la cabine de mudlogging et d'autres cabines de service.



Figure 122 : chantier de forage de Meaux Beauval

Les principales modifications nécessaires à l'installation de la plateforme de forage sont le défrichage en cas de végétation sur le site, le nivellement et le creusement de cavités. Leur réalisation implique également un passage d'engins lourds dans le périmètre du site. Les conséquences relatives à ces événements sont une compaction et une imperméabilisation du sol.

5.1.2.2 Impacts permanents

Les impacts permanents sur le sol concernent la centrale et les têtes de puits qui mobiliseront une surface de faible envergure. Aussi, le raccordement de la centrale géothermique au réseau de chaleur ainsi que le raccordement du réseau électrique à la centrale seront à l'origine d'aménagements de canalisations souterraines.

Tous les espaces pouvant être réaménagés en espaces verts seront débitumés. Ce changement d'occupation du sol restera cependant transitoire sur 30 à 45 ans car l'installation sera démantelée en fin d'exploitation. En effet, le site sera remis en état à la fin des travaux et de l'exploitation par une entreprise spécialisée et respectera les contraintes environnementales en vigueur.

5.1.3 Impacts potentiel sur la géologie

Cet aspect est traité en détail dans « Etude d'Impact de la Demande d'Ouverture de Travaux Miniers » car il est déterminant quant à la compatibilité du projet avec le SDAGE du bassin. Par ailleurs, GEOTHERMAR titulaire du titre minier, s'engage à ne pas avoir recours aux techniques de fracturation hydraulique. L'objectif recherché est la productivité naturelle et matricielle des réservoirs ciblés.

5.1.4 Impacts potentiels sur la qualité de l'air

Sur un plan général, l'impact de l'exploitation d'un doublet géothermique est particulièrement positif vis-à-vis de la qualité de l'air. Lorsqu'elle se substitue à un mode de production de chaleur faisant appel à une énergie fossile, la géothermie évite notamment le rejet dans l'atmosphère de quantités considérables de gaz carbonique (CO₂).

Cependant, lors de la phase travaux et exploitation, des poussières et des gaz peuvent être émis.

1.1.1.1 Impacts temporaires

En phase de travaux, les principaux rejets dans l'air sont les poussières engendrées par la circulation des engins de chantier sur les voies d'accès et la plateforme, les gaz d'échappement des moteurs thermiques et groupes électrogènes, et le cas échéant, les gaz présents dans les fluides géothermaux. L'eau minérale de Meyreuil, provenant de l'aquifère urgonien à 808 m de profondeur, laisse supposer qu'il n'y aura pas, a priori, de remontée de gaz provenant du fluide géothermal.

Concernant les poussières, dont leur mise en suspension dans l'air est dépendante du taux d'humidité présent, des mesures d'humidification par arrosage seront réalisées au niveau des zones d'activité humaine, afin de les faire retomber. De plus, les zones de roulement des véhicules et engins de chantier seront en grande partie imperméabilisées.

Compte tenu des nuisances susceptibles d'être associées à l'émission de gaz géothermaux, ce point fera l'objet d'un paragraphe particulier dans les documents de sécurité et de santé dans le cadre de la « Demande d'autorisation d'ouverture de travaux de forage ».

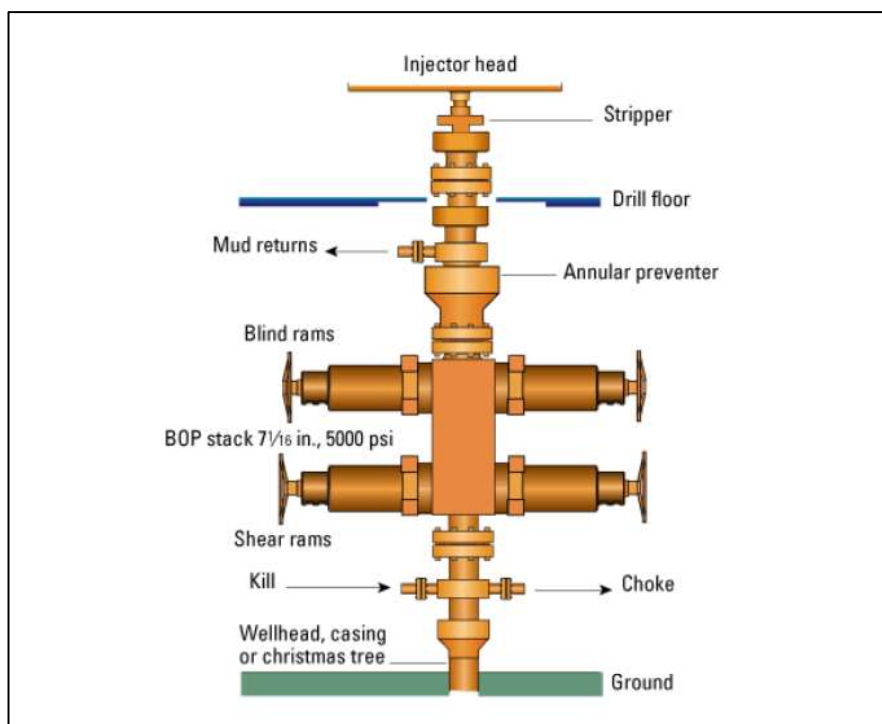


Figure 123 : BOP système de contrôle en tête de puits pour éviter les éruptions de puits

Les obturateurs de sécurité sont des vannes particulières à haute pression installées à la tête du puits avant le commencement du forage et qui permettent d'obturer l'espace annulaire de surface ou le puits en entier. Le dispositif de contrôle (BOP) est illustré Figure 120.

Les rejets gazeux provenant de la combustion de carburant restent négligeables et seront soumis à une libre circulation d'air extérieur. Aussi, les engins de chantier

seront à jour concernant la réglementation des émissions de gaz d'échappement. Le projet envisage d'électrifier l'atelier de forage afin de réduire au maximum les rejets gazeux.

5.1.4.1 Impacts permanents

En cas de présence de gaz dissouts dans l'eau géothermale, la boucle géothermale fonctionne avec une pression en tous points de l'installation supérieure à la pression de point de bulle, qui correspond aux conditions de pression et température auxquelles apparait la première bulle de gaz d'un liquide. Il n'y a donc pas de production de gaz en cours d'exploitation. Toute perte d'étanchéité de la boucle nécessite une réparation dans les plus brefs délais afin d'éviter une diminution de la pression.

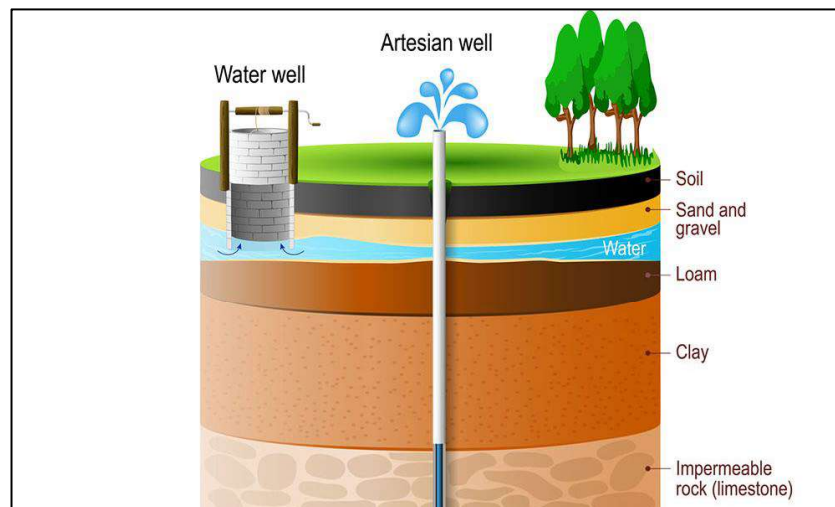


Figure 124 : Schéma explicatif d'un puits artésien

La quasi-totalité des interventions sur puits sont réalisées avec un contrôle de l'artésianisme du puits (injection de saumure ou de boue) et une mise en place d'un dispositif d'obturation automatique du puits en cas d'urgence, dans le but d'éviter un dégagement de gaz venant des fluides géothermaux.

Aussi, certains types de travaux comme une acidification douce du puits peuvent être à l'origine d'une formation de gaz s'échappant dans l'atmosphère.

5.1.5 Incidences thermiques et hydrauliques de la géothermie

5.1.5.1 Incidences thermiques

Un doublet géothermique fonctionne avec deux puits communiquant au niveau d'un aquifère. Un puits de production pompe l'eau souterraine et un puits injecteur rejette l'eau pompée après échange de ses calories avec un échangeur. Du fait de son fonctionnement, le puits injecteur peut entraîner un refroidissement au niveau du puits de production et ainsi diminuer les capacités de production. De plus, il faudra tenir compte des exploitations voisines pouvant elles aussi provoquer un refroidissement ou au contraire, veiller à ne pas affecter les installations déjà présentes. Le positionnement des deux puits et leur distance l'un de l'autre seront indispensables à la pérennité de la ressource en chaleur, limitant ainsi la décroissance thermique pendant la mise en exploitation du site. Ce positionnement dépend notamment de l'hétérogénéité du réservoir, de l'hydrodynamisme naturel, de la

masse volumique et de la viscosité du fluide ainsi que les paramètres relatifs aux conditions d'exploitation de l'installation comme la puissance extraite, la température de réinjection, etc.

5.1.5.2 Incidences hydrauliques

La connaissance de la composition des fluides géothermaux est nécessaire afin d'appréhender leur potentielle dangerosité. Des données sur l'Urgonien sont disponibles en raison de son exploitation par la compagnie de géothermie et de thermalisme (CG2T) à Meyreuil, à des fins de production d'eau minérale naturelle. Pour la deuxième cible qui correspond à la formation Jurassique, une analyse devra être réalisée. En fonction des résultats, un potentiel traitement pourra être envisagé. En cas de traitement chimique, le taux d'inhibiteurs injecté ne dépassera pas les seuils impropres à la consommation humaine et les seuils de contamination du milieu.

En ce qui concerne le risque de formation de puits (sources) artésien(ne)s, celui-ci sera maîtrisé lors des travaux au cours d'interventions dans les puits. Les moyens de maîtrise seront décrits en détail dans le dossier de la « Demande d'autorisation d'ouverture de travaux de forage ».

En ce qui concerne l'eau utilisée dans le cadre de test de puits, des mesures seront prises pour maximiser le recyclage de l'eau et éviter autant que possible l'utilisation d'eau potable provenant du réseau public. De plus, les éventuels adjuvants utilisés seront biodégradables.

2 Impacts potentiels et leurs mesures sur la ressource en eau

Cette partie est une première approche générale des incidences potentielles des différentes activités liées au chantier de forage sur la ressource en eau.

5.2.1 Incidences sur les eaux superficielles

5.2.1.1 Identification des effluents bruts

Lors de la phase de forage et de complétion, des effluents bruts, qui correspondent à tous les types de rejets dus au chantier, sont émis et une attention particulière est apportée pour les gérer et les traiter. Ils comprennent :

- Substances polluantes : lors de la mise en place d'infrastructures souterraines, l'utilisation de substances potentiellement polluantes peuvent se déverser accidentellement.
- Fluide géothermal : Le fluide de forage liquide est une boue à base d'eau. Le fluide géothermal fera l'objet de mesures d'intervention spécifiques en cas de déversement accidentel.
- Déchets de forage ou cuttings : Ce sont les résidus solides excavés lors du forage. Ces déchets sont entraînés par la boue de forage et peuvent contenir des contaminants naturels ou des substances indésirables provenant des formations géologiques.
- Boues de forage : La boue de forage est constituée du fluide de forage chargée en déchets de forage. Ces boues peuvent contenir des substances

chimiques utilisées dans le fluide de forage, ainsi que des particules, telles que de la matière organique, provenant des formations géologiques traversées.

- Eaux de lavage de l'appareil de forage : Pendant le processus de forage, l'appareil de forage et ses équipements nécessitent des opérations de nettoyage. Les eaux de lavage utilisées peuvent contenir des contaminants, notamment des huiles, des graisses et des résidus de fluides de forage.
- Carburants et lubrifiants : Les moteurs thermiques utilisés dans les opérations de forage nécessitent des carburants et des lubrifiants. Les fuites ou les déversements de ces substances peuvent entraîner une contamination de l'environnement.
- Effluents des installations sanitaires : les activités humaines liées au forage nécessitent des installations sanitaires pour le personnel. Les effluents issus de ces installations peuvent contenir des produits chimiques, des bactéries ou d'autres contaminants provenant des activités humaines.
- Eaux pluviales sur les aires techniques : Les aires techniques où les opérations de forage sont menées peuvent être exposées aux précipitations. Les eaux pluviales qui s'écoulent sur ces aires peuvent emporter des contaminants tels que des hydrocarbures, des métaux ou d'autres substances présentes sur le site.
- Hydrocarbures : Au cours des essais de production, des potentielles remontées d'hydrocarbures sont à prévoir. Les équipes de forage auront la charge de contrôler ces dégagements intempestifs.

5.2.1.2 Mesures mises en œuvre pour la protection des eaux superficielles

Afin de répondre à la réglementation environnementale dont l'objectif est de prévenir la pollution de l'eau et protéger les écosystèmes aquatiques, ces effluents bruts seront gérés et traités à l'aide de mesures appropriées. Ces dernières concernent notamment l'utilisation de systèmes de confinement, de dispositifs de séparation des solides, de traitements chimiques ou biologiques, ainsi que des mesures de prévention des déversements accidentels.

L'ensemble des mesures ci-dessous seront mises en place, de même que toutes autres mesures nécessaires à la protection des eaux superficielles :

- Installation d'un tube métallique et d'une cave étanche : Un tube métallique est mis en place depuis la surface jusqu'au premier terrain consolidé, pour isoler les terrains de surface de la boue de forage. Une cave étanche bétonnée est également construite pour empêcher la contamination des terrains de surface par la boue de forage.
- Aménagement des zones sensibles : Les zones utilisées pour le stockage et la manipulation de produits chimiques sont spécifiquement aménagées de manière à éviter tout ruissellement ou infiltration vers le milieu naturel. Cela peut inclure l'utilisation de dispositifs de confinement et de systèmes de récupération des égouttements.
- Recyclage des eaux de forage : Les eaux issues de l'activité de forage sont recyclées en circuit fermé pour les isoler des eaux de surface. En fin de

chantier, les eaux de forage restantes sont envoyées dans des unités de traitement spécialisées pour un traitement approprié.

- Utilisation d'une boue à base d'eau : Les phases de forage sont réalisées en utilisant une boue à base d'eau contenant peu d'additifs chimiques. Cela réduit le risque de contamination de l'eau de surface. De plus, les boues seront soumises à un processus de traitement qui peut inclure la séparation des phases solides et liquides, la filtration, la décantation ou d'autres procédés adaptés à la composition spécifique des boues. Les boues seront ensuite évacuées vers un site agréé spécialement conçu pour recevoir et traiter les boues de forage conformément aux réglementations environnementales en vigueur.
- Gestion des déblais et de la boue de forage : Les déblais générés pendant le forage contenus dans la boue de forage, tels que les cuttings, seront acheminés et stockés vers une benne étanche (appelée borbier) au départ du tamis vibrant linéaire et de la centrifugeuse à l'aide d'une bande transporteuse. Ce bassin est un trou creusé dans le sol recouvert d'une bâche étanche pour récupérer les égouttures éventuelles et ainsi éviter leur dispersion dans l'environnement. Ensuite, les déblais seront évacués vers un centre de traitement agréé.

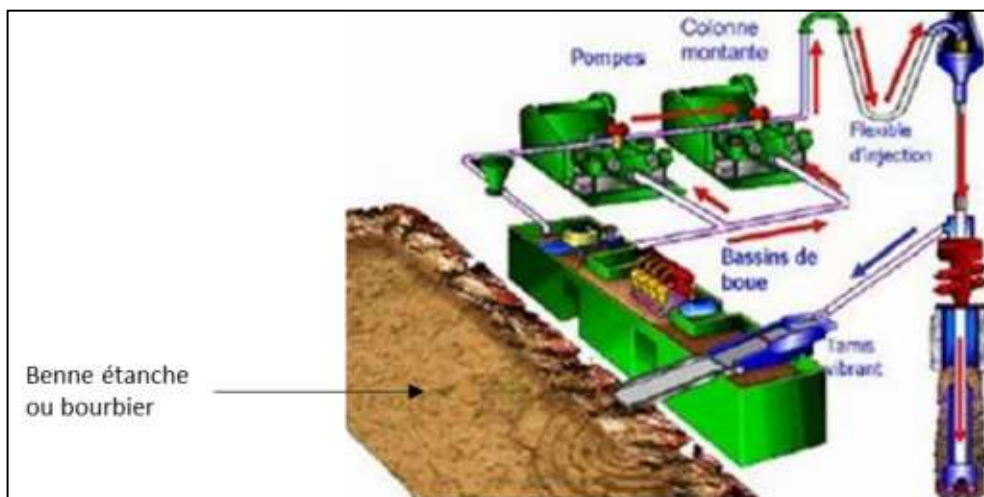


Figure 125 : Circuit de la boue avec le stockage des déblais de forage

- Collecte des égouttements : Les appareils de forage, les bassins à boue, les pompes et les centrifugeuses sont placés sur des bâches plastiques pour récupérer tous les égouttements. Les bâches sont ensuite déversées dans des caniveaux reliés à la cave pour un traitement ultérieur.
- Gestion des eaux de ruissellement : La plateforme de forage est entourée d'un fossé périphérique destiné à recevoir les eaux de ruissellement. Avant d'être rejetées dans le milieu naturel, ces eaux passent par un décanteur/déshuileur pour éliminer les contaminants éventuels.
- Manipulation sécurisée des carburants : La cuve à carburant est du type double paroi et posée sur une rétention étanche. La zone de manipulation et de déchargement du carburant est spécialement aménagée pour éviter toute contamination.

- Gestion des installations sanitaires : Les toilettes du chantier sont équipées d'une fosse étanche et vidangées périodiquement pour éviter les fuites ou les déversements dans l'environnement.

Ces mesures permettront d'éviter les risques de contamination des eaux superficielles. Elles seront mises en place conformément aux réglementations en vigueur.

5.2.2 Incidences sur les eaux souterraines

5.2.2.1 Identification des risques éventuels

Les risques identifiés pour la qualité des eaux souterraines pendant les opérations de forage sont les suivants :

1. Contamination par la boue de forage : La boue de forage utilisée peut contenir des produits chimiques ou des particules qui pourraient contaminer les aquifères souterrains en cas de fuite, de déversement accidentel ou pendant la phase forage, si la pression exercée par la boue est supérieure à la pression des fluides situés dans les formations traversées.
2. Mise en communication des aquifères sensibles avec la surface : Il existe un risque de communication entre les aquifères sensibles et la surface si les cuvelages ne sont pas correctement installés ou si des défaillances se produisent pendant le forage, ce qui pourrait entraîner une contamination des eaux souterraines.
3. Mise en communication des aquifères sensibles avec le réservoir géothermal : En cas de percement des cuvelages ou de défaillance de l'intégrité de la cimentation annulaire, il y a un risque de contamination des aquifères sensibles par l'infiltration d'eau géothermale ou de substances polluantes provenant de l'intérieur du puits.

5.2.2.2 Mesures prises pour la protection des eaux souterraines

Il est important de souligner qu'aucun travaux ne sera effectué à l'intérieur des périmètres de protection rapprochés des captages destinés à l'Alimentation en Eau Potable. Ces périmètres de protection sont des zones définies autour des sources d'eau potable où des restrictions et des mesures spécifiques sont mises en place pour préserver la qualité de l'eau et éviter toute contamination.

L'ensemble des mesures ci-dessous, ainsi que toute autre mesure nécessaire, visent à éviter les risques de contamination des eaux souterraines et à assurer la protection des ressources en eau pendant les opérations de forage :

1. Isolation des bacs et bourbiers : Les bacs et les zones de traitement des boues seront isolés de la surface du sol à l'aide de films plastiques imperméables pour éviter toute contamination des aquifères superficiels.
2. Composition de la boue de forage : La composition de la boue de forage sera conforme aux normes en vigueur pour minimiser les risques de contamination.
3. Utilisation d'eau recyclée : L'eau utilisée pour les opérations de tests, y compris les opérations d'amélioration de la fissuration, sera recyclée autant

que possible et prélevée dans un puits dédié ou dans une nappe salifère non potable. Les adjuvants utilisés seront biodégradables.

4. Installation de cuvelages cimentés : Pendant le forage, des cuvelages cimentés seront installés successivement pour protéger les aquifères souterrains. Ces cuvelages empêcheront toute communication entre les couches géologiques traversées et l'intérieur du puits. Le ciment devra répondre aux exigences environnementales pour assurer la protection des aquifères traversés.
5. Sélection de tubages anticorrosion : Les tubages utilisés seront en métal sélectionné pour offrir une protection anticorrosion adaptée aux aquifères traversés, tant pour la corrosion externe que pour la corrosion interne en contact avec le fluide géothermique.
6. Fermeture définitive du puits : Lors de la fermeture définitive du puits, des bouchons de ciment seront installés à des niveaux appropriés pour assurer l'isolation des différents aquifères traversés. Le programme de bouchage sera soumis à l'approbation de la DREAL pour garantir sa conformité aux réglementations environnementales.

Les mesures visant à éviter et réduire les risques de contamination des eaux souterraines et à assurer la protection des ressources en eau interviendront également lors de la conception de l'ouvrage, en cours d'exploitation, et lors des contrôles périodiques dits réglementaires.

Ces mesures seront décrites, étayées et complétées dans le dossier lors de la réalisation de la « Demande d'autorisation d'ouverture de travaux de forage ».

5.2.3 Compatibilité avec le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE)

Comme évoqué dans l'état initial du dossier, le périmètre du permis se situe entièrement dans celui du SDAGE 2022-2027 du bassin Rhône-Méditerranée. Sur le périmètre concerné par le projet, le SDAGE se traduit par le SAGE Arc provençal (SAGE06003) qui est entré dans sa 2^{ème} révision en 2021.

Le SDAGE Rhône-Méditerranée 2022-2027 donne neuf orientations fondamentales qui seront respectées.

Le tableau ci-dessous présente les mesures qui seront adoptées pour répondre à ces orientations :

Tableau 34 : Mesures adoptées pour répondre aux neuf orientations du SDAGE Rhône-Méditerranée 2022-2027

Orientations fondamentales du SDAGE	Réponse du projet
S'adapter aux effets du changement climatique	<ul style="list-style-type: none"> - Développement d'un projet d'énergie bas-carbone
Privilégier la prévention et les interventions à la source pour plus d'efficacité	<ul style="list-style-type: none"> - Ensemble des mesures décrites ci-dessous et prise en compte des objectifs du SDAGE
Concrétiser la mise en œuvre du principe de non-dégradation des milieux aquatiques	<p>Mesures prises pour limiter l'utilisation d'eau et pour protéger les aquifères :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recyclage des boues et usage d'eau limité au strict minimum - Emploi de matériaux et d'adjuvants conformes aux normes en vigueur - Pose de cuvelages cimentés en face des horizons aquifères pour éviter toute contamination
Prendre en compte les enjeux sociaux et économiques des politiques de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> - Recherche de débouchés de chaleur auprès du tissu industriel / agricole local dans un objectif de développement de zone d'activités industrielles ou agricoles utilisant l'énergie thermique générée. - Ce co-développement sera créateur d'emploi au niveau local - Il améliorera le gain environnemental en quantité de CO₂ évitée.
Renforcer la gouvernance locale de l'eau pour assurer une gestion intégrée des enjeux	<ul style="list-style-type: none"> - Soumissions auprès des Administrations concernées de dossiers de demande de permis d'exploration et d'ouverture de travaux - Information des populations avoisinantes avant le début des travaux <p>Le site sera organisé de façon à pouvoir être visité dans un objectif de pédagogie et de promotion de la géothermie comme énergie verte du futur et intégrée dans notre société.</p>
Lutter contre les pollutions, en mettant la priorité sur les pollutions par les substances dangereuses et la protection de la santé	<p>Mise en place de mesures de réduction de risque de pollution sur les chantiers :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aménagement de rétentions étanches des zones de stockage ou de manipulation de produits chimiques ou de carburant - Collecte vers un réseau spécifique des déblais de forage, boues usées et égouttures - Collecte et évacuation en filière agréée des produits potentiellement polluants stockés ou générés pendant les travaux - Collecte des eaux pluviales tombées sur la plate-forme et passage dans un déshuileur avant rejet.
Préserver et restaurer le fonctionnement des milieux aquatiques et des zones humides	<p>Création de fossés de détournement des eaux pluviales tombées à l'extérieur de la plate-forme de manière à :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Restaurer l'écoulement naturel - Prévenir tout risque de pollution potentiel lié au ruissellement sur la plate-forme.
Atteindre et préserver l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir	<p>Implantation du chantier hors des périmètres de protection des captages destinés à l'Alimentation en Eau Potable.</p>
Augmenter la sécurité des populations exposées aux inondations en tenant compte du fonctionnement naturel des milieux aquatiques	<p>Création d'une protection temporaire par merlon autour du site de forage et étude d'une protection définitive avec les acteurs du territoire pour la centrale de production, qui sera profilée pour ne pas faire barrage au flot.</p>

Le projet sera compatible avec le SDAGE du bassin Rhône-Méditerranée. Lors de l'étude d'impact une analyse du SAGE Arc provençal, en partie concernée par le périmètre du permis, sera réalisée afin de valider la compatibilité du projet avec le SAGE.

3 Impacts potentiels et mesures prises sur le milieu humain et la santé

Pour garantir la sécurité des travailleurs du site et des populations environnantes, toutes les mesures nécessaires seront prises dès l'installation du chantier.

Le maître d'ouvrage ou son représentant (coordonnateur SPS) a la charge d'informer et de faire respecter les consignes de sécurité et de veiller au bon déroulement des travaux effectués par les entreprises extérieures.

Les entreprises travaillant sur site, conformément à la législation, déclarent leurs travaux et établissent un P.P.S.P.S. listant les dangers et les moyens de prévention.

L'entrepreneur de forage sera soumis aux obligations découlant des lois et règlements relatifs à la protection de la main-d'œuvre et aux conditions de travail. Il devra notamment assurer la discipline et la sécurité sur les chantiers, respecter les règles administratives et professionnelles, et se conformer aux consignes de la Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production de Pétrole et du Gaz Naturel, ainsi qu'aux différents textes réglementaires applicables.

Parmi les mesures de sécurité mises en œuvre pour le chantier de forage, on peut évoquer :

- L'affichage permanent du plan d'hygiène et de sécurité dans les bâtiments du chantier.
- La rédaction de fiches de données sécurité (FDS) pour tout produit ou technique nécessitant des mesures particulières, fournies à l'arrivée sur le chantier et à mettre en application. Les caractéristiques physico-chimiques, toxicologiques et écotoxicologiques y sont renseignées.
- L'établissement de fiches d'intervention spécifiques pour les principaux risques identifiés, établies et diffusées.
- Le balisage du chantier et la mise en place d'une clôture toute autour. Des panneaux explicatifs seront installés en périphérie du site pour informer les populations des travaux en cours.
- L'information de l'existence du chantier aux administrations et services tels que la DREAL, la préfecture, la commune la police, les pompiers, services médicaux et autres.
- La réglementation routière devra être respectée sur l'ensemble du chantier et des voies d'accès. De plus les engins présentant un risque pour la sécurité devront respecter leur vitesse réglementaire.
- L'utilisation d'un véhicule ou appareil de forage fera l'objet d'une autorisation auprès du chef de chantier.

- L'information par le chef de chantier des règles à l'ensemble des salariés concernés
- L'emplacement du forage sera entièrement clôturé et l'accès au site sera interdit au public. Des panneaux explicatifs seront installés en périphérie du site pour informer les populations des travaux en cours.
- Au moins un titulaire d'un brevet de secourisme sera présent sur le chantier de forage en périodes d'activité.
- Toutes autres mesures relatives à un chantier de forage.

5.3.1 Gaz toxiques

Le dégazage de fluide géothermique est la principale source d'accidents graves dans la filière géothermique qui est une filière cependant très peu accidentogène.

En phase d'exploration, de test ou d'exploitation, le fluide géothermique, si celui-ci contient du gaz, est à pression élevée et est donc susceptible d'atteindre la surface et de dégazer. Ce gaz émis peut être, en général, un mélange de vapeur d'eau, de gaz carbonique (CO₂) et d'hydrogène sulfuré (H₂S), qui est un gaz toxique.

L'H₂S est dangereux en raison de sa forte toxicité et de son inflammabilité. A faible teneur dans l'air, il est identifiable par son odeur caractéristique, cependant, lorsque sa concentration dépasse 150 à 200 ppm, il provoque une anesthésie de l'odorat. A partir de 1000 ppm, une seule inspiration suffit pour perdre connaissance puis, au-delà de cette teneur, la mort peut survenir en quelques minutes. En France, la valeur limite d'exposition (VLE) pour l'H₂S est fixée à 10 ppm et la valeur moyenne d'exposition (VME) est à 5 ppm, en milieu confiné.

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) a établi des préconisations concernant les mesures de prévention et de protection lors des opérations concernées par ce risque :

- La présence de deux travailleurs au moins sur le lieu de travail ;
- Le maintien, à proximité immédiate, d'un appareil de protection respiratoire pour chaque opérateur ;
- L'utilisation d'un système de détection du gaz.

Pour les interventions dans les puits, les tampons seront préalablement ouverts pour renouveler l'air intérieur au préalable.

Par ailleurs, les dispositions réglementaires du Code Minier (nouveau), du Code du travail et du Code de la sécurité sociale, relatives à la prévention des risques, seront appliquées, afin de garantir la sécurité des personnes.

Les mesures de prévention et de sécurité pour le personnel proche des émanations sont décrites de manière détaillée dans le Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (P.P.S.P.S.) concerné.

Pour les formations visées par ce permis, il est cependant très peu probable que celles-ci contiennent de l'H₂S.

5.3.2 Produits chimiques

Le risque principal lié aux produits chimiques est l'inhalation de poussières notamment de silice cristalline.

Concernant la boue de forage, la silice cristalline contenue dedans (<5%) peut provoquer une maladie pulmonaire grave : la silicose. Elle est classée cancérigène suspectée de catégorie 3 par la réglementation européenne et comme cancérigène par le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC).

D'autres produits chimiques présents sur le chantier de forage peuvent inclure :

- Certains adjuvants de la boue (p.e. le glycol, le chlorure chromique, la bentonite sodique, l'alourdissant)
- L'acide chlorhydrique (en phase de développement du puits)
- Les inhibiteurs de corrosion et de dépôt les cas échéant en phase exploitation

Le ciment présente également des risques chimiques. Le ciment frais est irritant par contact avec la peau et la présence éventuelle de chrome hexavalent ou de cobalt peut générer un eczéma (INRS, 2005). Le ciment sec peut provoquer des irritations oculaires en cas de projection dans les yeux et des rhinites en cas d'inhalation de poussières. Lors de l'utilisation de silice cristalline en complément du ciment présente les mêmes risques mentionnés ci-dessus pour la boue de forage.

Une étude plus détaillée sur les produits chimiques sera effectuée dans le cadre d'éventuelles demandes d'AOTM.

5.3.3 Risques potentiels physiques

Un chantier de forage présente des dangers physiques liés aux activités de chantier : chute de personnes, chute d'objets en hauteur, circuits sous pression, heurt et coincement par machine ou équipement en mouvement, risque d'explosion, etc. Des documents tels que le plan général de coordination SPS et le plan de prévention PPSPS seront élaborés pour chaque chantier de forage.

Ces mêmes risques demeurent possibles lors de la phase d'exploitation.

5.3.4 Nuisances sonores

1.1.1.2 Travaux de chantier pour la préparation du site de forage

Pendant les travaux de préparation du site de forage, il est important de considérer les potentielles nuisances sonores. Les activités telles que l'utilisation d'équipements lourds, de machines de forage et d'engins de construction peuvent générer un niveau élevé de bruit. Cela peut avoir un impact sur les travailleurs du chantier ainsi que sur les communautés avoisinantes. Des mesures de gestion du bruit devraient être mises en place pour réduire au maximum les perturbations sonores, ce qui peut inclure l'utilisation d'équipements moins bruyants, la mise en place de barrières acoustiques et la planification des horaires de travail de manière à minimiser les périodes de bruits intenses.

5.3.4.1 Travaux de forage

De manière générale, le rayon de dispersion des bruits générés par un chantier de forage dépend de plusieurs facteurs, notamment de :

- La distance entre le chantier et les habitations avoisinantes ;
- La configuration générale du relief et la présence d'écrans naturels ou artificiels sur le site ;
- L'humidité relative du site ;
- La force et la direction des vents pendant les opérations.

Des mesures de bruit ambiant ont été effectuées sur différents sites dans leur état initial, et voici les valeurs moyennes en décibels (dB(A)) :

Tableau 35 : Valeurs moyennes de bruits d'ambiants (Source : Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz Naturel)

Valeurs moyennes en dB(A)		
Période	Jour	Nuit
Milieu rural	42 à 52	25 à 30
Milieu résidentiel	45 à 58	25 à 35
Milieu suburbain	45 à 65	25 à 38
Ville moyenne	65 à 75	40 à 45
Paris	70 à 80	45 à 50

Il est important de noter que dans les milieux ruraux qui concernent en partie le périmètre du permis, la circulation sur les routes départementales voisines peut générer du bruit qui peut être considéré comme du bruit ambiant pendant la journée, mais devient un bruit perturbateur pendant la nuit.

5.3.4.1.1 Niveau sonore et la fréquence du bruit au niveau des travaux de forage et de complétion

Les bruits générés par les travaux des puits proviennent des opérations de forage, de complétion et de construction.

Les éléments principaux identifiés comme source de bruit sont les suivants :

- La puissance des appareils utilisés pour le forage et la complétion ;
- Les bruits continus des moteurs diesel des groupes électrogènes, des pompes d'injection de la boue, de la table de rotation/top drive et du treuil de levage ;
- Les bruits discontinus liés à la manipulation de la garniture métallique, aux racks de stockage de la sonde, ainsi qu'aux chocs métalliques lors de la remontée et de la descente des trains de tiges ;
- Les bruits des véhicules approvisionnant le chantier et les bips de recul des engins de chantier.

Les engins utilisés seront conformes à la réglementation sur les émissions sonores.

La Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz Naturel a publié un guide intitulé "Le Bruit et les Chantiers de Forage à Terre", qui donne des niveaux de bruit typiques générés par les différentes activités de forage.

Selon ce guide, voici les niveaux de bruit maximum (bruit perturbateur) par type de travaux en dB(A) :

Tableau 36 : Niveaux de bruit maximum par type de travaux lors d'un forage (Source : Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz Naturel)

Niveaux de bruit maximum (bruit perturbateur) par type de travaux en dB(a)					Bruit de fond
Activités	Valeurs statistiques mesurées			Calculées	Mesurées
	80 m	150 m	500 m	300 m	300 m
Frein de treuil (usage normal)	70-72	63-67	45-50	57-61	45-49(j)
Frein de treuil (usage intensif)	73-79	65-72	47-55	59-66	30-35(n)
Manœuvre de tiges	66-79	58-72	48-57	52-66	45-50(j)
Forage normal de jour	78-98	75-80	56-60	69-74	45-55
Forage normal de nuit	-	58-62	56-60	51-56	45-55
Descente tubage	73-75	68-72	50-55	62-66	45(j)
Cimentation	72-75	64-68	45-49	58-62	45

Note : (j) = jour, (n) = nuit

Selon les estimations basées sur les données de la Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz Naturel, en tenant compte de l'insonorisation ou de l'électrification des appareils de forage, voici les niveaux moyens de bruit en dB(A) par type de travaux, mesurés à une distance de 300 m pendant la nuit :

Tableau 37 : Niveaux de bruit moyen en dB(A) par type de travaux (Source : Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz Naturel)

Niveaux de bruit moyen par type de travaux	Valeur calculée à 300 m (nuit) en dB(A)
Forage normal	50,3
Manœuvre de tiges	48,5
Descente tubage	46,9

Ces estimations reflètent les niveaux de bruit attendus lors de ces différentes activités de forage. Il est important de noter que les appareils utilisés en France sont configurés de manière à ne pas dépasser, en dehors du bruit ambiant, un niveau acoustique de 55 dB(A) à 300 m de l'axe du puits, sur 90 % d'une durée représentative de 24 heures (soit 21,6 heures par jour). De plus, les valeurs de niveau

acoustique pour une durée représentative de 8 heures de manœuvre ou de 16 heures de forage ne doivent pas dépasser 65 dB(A) aux mêmes critères de mesure.

5.3.4.1.2 Mesures prises pour réduire le bruit généré

Le port d'une protection acoustique est obligatoire lors d'une émission dont le seuil est fixé à 10 dB(A) en dessous de la norme.

5.3.4.1.2 Les travaux de forage et de complétion

Les mesures suivantes seront prises afin de réduire l'impact sonore des travaux :

- Le site de forage sera implanté à une distance minimale de 300 mètres des habitations, en tenant compte de la direction des vents dominants dans la mesure du possible ;
- Les moteurs d'entraînement du treuil et de la table de rotation de l'appareil de forage seront insonorisés ;
- Les moteurs d'entraînement des pompes de boue seront insonorisés ;
- Les groupes électrogènes seront insonorisés ;
- Les unités de cimentation seront insonorisées ;
- La plateforme de forage sera aménagée en fonction de la localisation, par exemple en mettant en place des levées de terre ou des écrans antibruit aux endroits appropriés ;
- Les responsables du chantier maintiendront un contact permanent avec les habitants et les entreprises du voisinage, ce qui permettra de mieux évaluer les éventuelles nuisances sonores causées par le forage et de résoudre les problèmes éventuels.

Ces mesures visent à réduire au maximum les nuisances sonores liées aux travaux de forage et à assurer une meilleure cohabitation avec les résidents environnants.

5.3.4.1.2 La circulation des véhicules de chantier

Les mesures suivantes seront prises afin de réduire l'impact sonore des véhicules de chantier :

- L'installation et le repli de l'appareil de forage seront effectués pendant les heures de jour, limitant ainsi les mouvements et les bruits associés pendant la nuit ;
- Les livraisons d'équipements et de matériaux seront planifiées pendant les heures de jour, sauf en cas d'urgence où des livraisons exceptionnelles pourraient être nécessaires ;

Il est important de noter que chaque site fera l'objet d'une étude détaillée, qui sera réalisée et présentée dans le cadre de la Demande de travaux. Cette étude permettra d'évaluer les impacts potentiels du bruit généré par la circulation des véhicules de chantier et de proposer des mesures spécifiques pour réduire ces nuisances sonores.

5.3.4.2 Nuisances liées au fonctionnement des puits

Au droit des puits et pendant leur fonctionnement, des bruits sont également générés. Ces bruits sont issus de la circulation des fluides dans les canalisations, de la rotation du groupe de pompage immergé, au niveau du puits de production. Cependant ces équipements seront positionnés en sous-sol dans une cave et celle-

ci sera fermée par une dalle qui conduira à une atténuation de l'émergence de ces bruits.

5.3.5 Impacts potentiels visuels

5.3.5.1 Temporaire

Les installations d'éclairage de chantier sont provisoires et répondent aux exigences de la norme NF C 15-100 ainsi qu'aux recommandations de l'Association française de l'éclairage.



Figure 126 : Derrick d'un forage pétrolier en Sibérie éclairé de nuit

On distinguera deux types d'éclairage :

- L'éclairage « normal » qui permet au personnel de travailler en sécurité et d'avoir une vision d'ensemble du chantier ;
- L'éclairage « de sécurité » qui permet de baliser le cheminement vers les issues et de faciliter l'évacuation du personnel.

Les installations d'éclairage nécessitent une alimentation électrique et doivent être protégés contre les projections d'eau et les risques de chocs mécaniques.

L'air du chantier et les équipements seront donc éclairés de jour comme de nuit. Ainsi, la tour de forage (derrick/mast) mesurant une trentaine de mètres et allant jusqu'à quarante mètres au maximum, sera peinte en rouge et blanc et équipée d'un balisage lumineux de jour comme de nuit pour des raisons de sécurité humaine mais également pour la sécurité aérienne.

5.3.5.2 Permanent

A l'issue des travaux, la centrale géothermique sera le seul bâtiment visible. Ce bâtiment répondra aux exigences du Plan local d'urbanisme (PLU).

5.3.6 Impacts potentiels socio-économique

La géothermie est un exemple de la volonté de GEOTHERMAR de s'engager pour la Transition Energétique des territoires dont les projets de géothermie sont un exemple concret. Celle-ci permet aux installations chauffées de bénéficier d'une image écologique justifiée et de ce fait, d'améliorer l'acceptabilité et le cadre de vie du patrimoine urbain.

Cette énergie locale et à coût compétitif de fonctionnement permet aux consommateurs de réduire leur budget chauffage. L'impact sur l'emploi est également positif.

Si le terrain occupé se situe au sein d'une parcelle agricole, les mesures d'indemnisation et de restitution du terrain décrites dans les conventions d'occupation de terrain, visent à compenser les propriétaires et exploitants agricoles pour les perturbations temporaires et les dommages causés par les travaux.

5.3.7 Circulation et flux de matières

5.3.7.1 Flux de matières

5.3.7.1.1 Canalisations existantes

Des conduites d'eau géothermale relieront les têtes de puits à la centrale géothermique. Le cheminement des conduites prendra en compte l'intégralité des réseaux en place, ainsi que ceux en relation avec les aménagements urbains en projet.

5.3.7.1.2 Déchets

Pour le traitement et le rejet des déchets générés par les travaux de forage, de complétion et de construction, des mesures de tri, mais également de la valorisation des déchets seront prises. Par exemple, les palettes en bois pourront être reprises directement par le fournisseur en vue d'être réutilisées.

Le traitement des effluents est discuté en Section 5.2.

5.3.7.2 Circulation

Les travaux d'aménagement de la plate-forme et l'apport du matériel impliqueront le passage de 10 à 20 camions par jour environ en fonction du volume et de la configuration du site, pour une durée d'environ 15 jours.

Pendant la phase de forage et de complétion, d'une durée de 4 à 6 mois environ, la circulation sera limitée à quelques camions par semaine et aux déplacements des travailleurs sur le site avec environ 8 à 10 véhicules par jour. Il faudra au niveau de la zone de forage, prévoir une aire de retournement pour les véhicules se rendant sur le chantier.

La centrale géothermique étant dans une enceinte privée, les opérations qui s'y dérouleront auront un impact négligeable sur la circulation. En aucun cas des travaux de maintenance ou de réhabilitation ne peuvent perturber les voies de circulation.

Des précautions seront prises pour éviter la mise en danger de la vie d'autrui en cas de transports de produits dangereux ou d'utilisation d'engin présentant un risque pour autrui.

Aussi, le respect du code de la route et des consignes spécifiques aux engins de chantier seront respectés afin de garantir la sécurité du personnel. En effet, les accidents de véhicule liés aux déplacements du personnel sur site et hors site constituent une des premières causes de mortalité dans la population des foreurs.

Concernant la circulation aérienne, l'ensemble des prescriptions de sécurité

spécifiques aux activités de l'Aéroport Marseille Provence et d'Airbus Helicopters seront respectées.

Le balisage du derrick s'effectuera conformément aux dispositions de l'Arrêté du 23 avril 2018 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne.

5.3.8 Protection du patrimoine et des infrastructures

Plusieurs sites inscrits et classés ont été identifiés dans la zone d'étude (cf. Section 4.1.4). La centrale ne pourra pas être construite au niveau d'un site classé mais pourra l'être au niveau d'un site inscrit, en cas de nécessité, sous réserve d'une autorisation du préfet.

Par ailleurs, en cas de découverte de vestiges archéologiques, au titre de la loi portant réglementation des fouilles archéologiques, ceux-ci devront être immédiatement déclarés au Service Régional de l'Archéologie et conservés en l'attente de la décision du service compétent, qui prendra toutes les dispositions nécessaires. Il est entendu que tous les vestiges et documents archéologiques mis à jour resteront propriété de l'Etat, et que, conformément à la législation, le Service Régional de l'Archéologie décidera de la dévolution des découvertes. L'archéologue travaille alors en étroite collaboration avec l'aménageur qui doit supporter la charge financière d'un éventuel impact archéologique. Si l'importance des découvertes amène l'État à retarder les travaux, certaines aides peuvent être mises en place.

Par ailleurs, le choix du site prendra en compte les risques associés aux installations industrielles classées SEVESO seuil Haut et Bas. Ces deux seuils SEVESO sont concernés par le périmètre du permis.

5.3.9 Impacts potentiels sur les autres usages

5.3.9.1 Risque incendie

Comme tout site industriel, un chantier de forage et une centrale géothermique sont concernés par le risque d'incendie.

Ce risque peut provenir de diverses sources :

- Stockage de produits inflammables ;
- Utilisation de courants électriques de forte intensité et présence d'équipements à l'extérieur soumis aux intempéries, induisant un risque de feu électrique ;
- Venue de gaz incontrôlée, pouvant provoquer une explosion, tout comme la présence de conteneurs sous pression pouvant contenir des fluides combustibles dans le cas d'essais de production.

Le chantier de forage sera équipé de moyens de lutte contre l'incendie (extincteurs, couverture antifeu). Le personnel aura reçu la formation nécessaire pour contrôler ce risque et lutter contre les incendies en cas d'accident, si la situation le permet et en attendant l'équipe de secours.

Les mesures seront prises conformément aux préconisations du SDIS 13 et aux plans de prévention des documents d'urbanisme de chaque commune.

Le site sera équipé d'un plan d'évacuation incendie et de signalisations d'évacuation. Les sapeurs-pompiers et la police municipale seront prévenus de l'installation du

chantier. Une personne, au moins, sera titulaire d'un brevet de secourisme (PSC1).

5.3.9.2 *Risque de micro-sismicité induite*

Dans un contexte de contrainte géomécanique, une opération de géothermie profonde peut provoquer une sismicité induite qui est un phénomène de rupture provoqué par une modification du champ de contrainte. Cette sismicité est généralement de faible magnitude (inférieure à 2) et n'est pas ressentie en surface.

La sismicité induite est provoquée par l'interaction de plusieurs facteurs concomitants qui sont aussi bien des facteurs naturels que sont les caractéristiques hydrauliques, pétrophysiques et géologiques mais aussi des facteurs anthropiques tels que les méthodes d'exploitation et les opérations réalisées. Les facteurs intrinsèques et opérationnels exercent une influence différente sur le niveau d'aléa en fonction du type de système géothermiques. L'occurrence et l'intensité de la sismicité induite sont donc le résultat de l'interaction de ces différents facteurs.

Le facteur anthropique principal est la modification de la pression de la roche par le fluide injecté/pompé. Cette modification de pression dépend de la capacité de la roche à laisser circuler les fluides (perméabilité) ainsi que de l'interconnectivité entre puits et est contrôlée par le débit de pompage mais surtout d'injection dans le puits. Dans le contexte géologique et géomécanique du projet porté par Géothermar, le risque de sismicité induite est très faible si les débits de fluides appliqués restent compatibles avec la capacité de la roche à les laisser circuler.

- Pendant la phase de forage, la seule circulation de fluide provient de la boue de forage nécessaire pour remonter les déblais à la surface. La circulation de la boue se fait en circuit fermé dans le puits et son débit est contrôlé en continu.
- C'est pendant les phases de test, que le risque de sismicité induite devient modéré. En effet, de l'eau est injectée dans la roche pour en estimer sa perméabilité. Les débits d'injection ou de pompage ainsi que la pression dans le puits sont alors contrôlés en continu. Des événements de micro-sismicité induite peuvent survenir mais leur surveillance en temps réel permet d'enclencher l'arrêt des opérations si nécessaire.
- Enfin, lors de l'exploitation, la circulation de fluide au sein du doublet de la centrale et la pression dans la roche sont stables et rendent le risque de sismicité induite faible.

Toute utilisation de surpression sera soigneusement planifiée en prenant en compte l'énergie sismique naturelle de la zone, dans le but de limiter les microséismes.

De manière générale, le système géothermique visé est contrôlé principalement par la porosité matricielle et par un système de fractures (réservoir karstique sous couverture sédimentaire) appelés CPM. D'après le rapport d'INERIS-BRGM, l'aléa incident sismique est faible pour les projets développés en aquifères poreux, en l'absence de failles connectées au réservoir géothermique et qui sont exploités sans faire recours aux technologies EGS (Tableau 35).

Tableau 38 : Influence des facteurs intrinsèques et opérationnels sur le niveau d'aléa d'incident sismique en fonction du type de système géothermique visé

		← Aléa de sismicité induite →			
		Systèmes contrôlés par porosité matricielle (CPM)	Systèmes à contrôle mixte (CM)	Systèmes contrôlés par failles et fractures (CFF)	
Facteurs intrinsèques	Écoulement des fluides	Contrôlé par porosité matricielle	Contrôle mixte par porosité et par failles/fractures	Contrôlé par failles et fractures	
	Convection (transfert chaleur)			Bonnes propriétés hydrauliques	
	Conduction (transfert chaleur)			Mauvaises propriétés hydrauliques	
	Présence de failles dans un état de contrainte critique et favorablement orientées	Généralement non observé	Peut être fréquent	Peut être fréquent	
	Connexion hydraulique avec le socle	Généralement non observé	Peut être fréquent	Forages à proximité ou atteignant le socle	
	Distance socle réservoir	Généralement à distance du socle	Généralement à proximité du socle	Forages à proximité ou atteignant le socle	
	Aléa sismique naturel	Faible	Moyen	Élevé	
	Température du réservoir	Faible	Moyen	Élevé notamment pour systèmes CFF-CV	
Paramètres opérationnels	Méthodes d'exploitation	Sites non-EGS	Aucun cas de sismicité observé	Très peu de cas de sismicité observés	
		Sites EGS			Notamment pour systèmes CFF-PS et CFF-DE
		Champs non-EGS			Notamment pour systèmes CFF-CP et CFF-CV
		Champs EGS			Méthode d'exploitation peu fréquente
	Opérations	Circulation	Aucun cas de sismicité observé	Très peu de cas de sismicité observés	Très peu de cas de sismicité observés
		Production-injection			Notamment pour systèmes CFF-CP et CFF-CV
		Injection/Stimulation			Plusieurs cas de sismicité observé
		Shut-in	Aucun cas de sismicité observé	Plusieurs cas de sismicité observé	Plusieurs cas de sismicité observé
		Volume net injecté	Faible	Moyen	Élevé
		Pression d'injection	Faible	Faible	Élevé
	Injectivité	Élevée	Élevée	Faible	

Les couleurs des cases du tableau indiquent le niveau d'aléa pour chaque facteur identifié et pour chaque type de système géothermique : vert, jaune et saumon indiquent respectivement des niveaux faibles, moyens et élevés d'aléa de sismicité induite. Les cases barrées indiquent que les facteurs ne peuvent pas s'appliquer à certains types de système géothermiques.

Dans le cadre du programme d'exploration, les techniques mises en œuvre seront conçues en tenant compte du potentiel sismique naturel existant et privilégieront l'optimisation de la fissuration naturelle. Aucune technologie de fracturation hydraulique ne sera utilisée.

De plus pour les systèmes CPM, la sismicité naturelle n'est pas un facteur aggravant sur la sismicité induite (Figure 123).

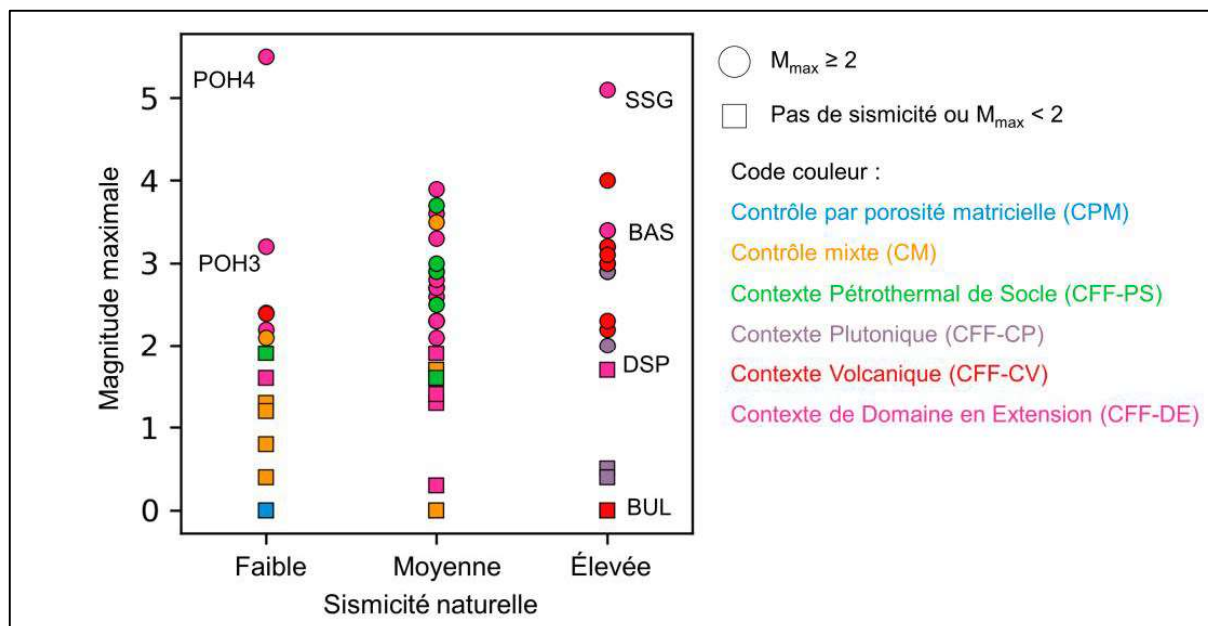


Figure 127 : Magnitude maximale atteinte par les événements sismiques induits en fonction de l'aléa sismique naturel de la zone concernée.

De plus, selon les connaissances actuelles, au droit du permis « Marseille-Berre », il n'existe pas de grandes failles susceptibles de provoquer des séismes.

Bien que le risque soit faible, le projet suivra les recommandations et bonnes pratiques du BRGM et d'INERIS sur la caractérisation, la surveillance du réservoir et de la microsismique mais aussi sur le pilotage des opérations de la géothermie profonde.

5.3.9.3 Risque de radioactivité

Le fluide géothermal riche en éléments minéraux en remontant en surface peut faire l'objet de dépôts minéraux qui piègent les radioéléments.

Lorsque le fluide géothermal, riche en éléments minéraux, remonte en surface, il peut entraîner des dépôts minéraux qui ont la capacité de piéger les radioéléments. Afin de garantir la sécurité et de réduire les impacts environnementaux, un suivi du taux de nucléides sera effectué sur l'eau géothermale pendant la phase de test.

Ce suivi permettra de surveiller les niveaux de remontées de radioéléments et de vérifier s'ils sont conformes aux normes réglementaires. En fonction des résultats obtenus, les procédures d'exploitation seront adaptées en conséquence afin de prévenir tout risque et de maintenir un environnement ne présentant pas de risque pour la santé.

D'après les connaissances actuelles, la zone du PER n'est pas concernée par le risque de radioactivité.

5.3.10 Risque électrique

Un chantier présente un risque lié à l'utilisation d'électricité avec les différents équipements comme l'armoire électrique, les câbles électriques, l'utilisation d'appareils et d'outils électriques.

Toutes les préventions face à ce risque reposent sur les dispositions réglementaires

figurant dans le Code du travail. Le matériel doit être conforme à la réglementation en vigueur afin de protéger les utilisateurs. Ces dispositions concernent la mise en sécurité des installations et des matériels électriques et l'évitement de tout contact qu'il soit direct ou indirect avec des pièces nues sous tension ou mises accidentellement sous tension.

4 Remise en état du site

La cessation de l'exploitation d'un site géothermique est encadrée par les articles L.163-1 à L.163-9 du code minier (nouveau). Elle requiert le respect d'une procédure spécifique détaillée à l'article 43 et suivants du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains, modifié par le décret n°2022-1485 du 28 novembre 2022.

Dans le cadre de cette procédure, l'exploitant doit transmettre une déclaration au préfet, dont le contenu est précisé à l'article 43 du décret ci-dessus mentionné. Cette déclaration doit être effectuée au plus tard 6 mois avant la fin de l'exploitation. Les éléments figurant dans cette déclaration sont les suivants : les conditions de fermeture du doublet, le plan des ouvrages concernés avec leur coupe technique, la procédure d'abandon avec la coupe après rebouchage, ainsi que les mesures de prévention des risques identifiées.

Au sujet de la remise en état du site, une étude a été faite par le BRGM sur l'abandon des puits de forage (« Procédures administratives et techniques de comblement de tout type de forages (eau, géothermique, pétrolier), y compris pour des forages profonds », décembre 2009).

La mise en arrêt d'un forage d'eau consiste à en extraire les équipements (pompe, tube d'injection) puis de combler les puits avec du gravier siliceux, complété par une cimentation

Le comblement des puits, sera effectué conformément au programme de bouchage soumis pour accord aux services compétents de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL).

Une restauration de l'isolation des différents niveaux perméables sera faite en utilisant des bouchons de ciment. Les bouchons de ciment doivent empêcher la circulation des fluides entre les niveaux perméables, prévenir la pollution et protéger les niveaux aquifères. Les opérations d'abandon seront réalisées selon les principes cimentation spécifiés dans la note technique n°11 du ministère de l'économie, des Finances et de la souveraineté industrielle et numérique sur l'abandon et la fermeture des forages.

La remise en état du site, comprend la démolition des ouvrages en béton, le retrait des matériaux d'apport pour la construction, le reprofilage avec de la terre végétale et tout autre modification relative à la remise en état du sol. Ces travaux prendront en compte les contraintes environnementales. Un dossier à l'intention des services administratifs décrira l'état du sol à l'issue de l'abandon et pourra faire l'objet de travaux spécifiques ultérieurs.