

FLOWERGY CHATENAY-MALABRY

Réponse à l'avis délivré par la MRAe le 17 août 2020

portant sur la réalisation d'un doublet géothermique à l'aquifère du Lusitanien avec une option de repli sur l'aquifère sus-jacent du Néocomien, dans le cadre de la demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers géothermique sur la commune de Châtenay-Malabry (92)

NT/IMO/TUC18086/2020/005/VA
Septembre 2020



Compagnie Française de Géothermie

3, Avenue Claude Guillemin – B.P. 46429
45064 ORLEANS CEDEX 2 France

Tél.: 02 38 64 31 22 - Fax: 02 38 64 32 83
contact@cfgrservices.fr - www.cfgrservices.fr

RCS Orléans 444 572 044 – SIRET 444 572 044 00014

QUALITE

Numéro affaire : TUC18086

Numéro de rapport : NT/IMO/TUC18086/2020/005

Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom : Anne-Lise Gille	Nom : Chouet Pierre	Nom : Beddelem Marie-Hélène
Date : 08/09/2020	Date : 08/09/2020	Date : 08/09/2020
Signature	Signature	Signature

REVISION

Version	Date	Modification
A	04/09/2020	Document d'origine
B	08/09/2020	Compléments suite remarques Eiffage
C		
D		
E		

CLIENT

Nom : FLOWERGY CHATENAY-MALABRY
Adresse : 3/7 Place de l'Europe 78140 Vélizy-Villacoublay France

DIFFUSION

DRIEE Ile de France
Préfecture des Hauts de Seine (92)
EIFFAGE
CFG

SOMMAIRE

1	PREAMBULE	4
2	REPONSES AUX PRECISIONS DEMANDEES PAR L’AUTORITE ENVIRONNEMENTALE D’ILE DE FRANCE	4
2.1	Remarque sur la prise en compte de l’impact du projet dans son ensemble	4
2.2	Remarque sur l’environnement sonore du site et des objectifs d’émergences de bruits.	6
2.3	Remarque sur le scénario d’éruption non contrôlée des puits et des impacts pour la population	9
2.4	Remarque sur les conditions de fermeture des puits et de remise en état	12
2.5	Remarque sur la justification technique de l’aquifère visé	14

1 PREAMBULE

L'objet du présent document est la réalisation d'un nouveau doublet géothermique sur la commune de Chatenay-Malabry (92). Le doublet sera constitué d'un puits producteur et d'un puits injecteur inclinés, permettant d'exploiter l'eau chaude présente dans l'aquifère profond du Lusitanien. Une option de repli sur l'aquifère sus-jacent du Néocomien est également envisagée.

Le dossier de demande conjointe de Permis de Recherche et d'ouverture de travaux de forage (PER-DOTEX) du projet géothermique de la ZAC « La Vallée » est en cours d'instruction par la Préfecture des Hauts-de-Seine (92) avant son passage en enquête publique.

A ce titre, il a été soumis à avis auprès de l'autorité environnementale MRAe d'Ile-de-France (Mission Régionale d'Autorité environnementale) visant à éclairer le public sur la qualité de l'étude d'impact et sur la manière dont l'environnement est pris en compte dans le projet.

L'objet de cette note est d'apporter des éléments de réponse aux questions posées par la MRAe, suite à leur avis délibéré du 17 août 2020 joint au dossier d'enquête publique pour apporter au public tous les éléments susceptibles d'évaluer les incidences du projet sur l'environnement.

De manière générale le complément de réponse, présenté ci-après, fait référence aux dossiers de « Demande d'autorisation de recherche d'un gîte géothermique au Lusitanien avec une option de repli sur l'aquifère du Néocomien » et de « Demande d'autorisation d'ouverture de travaux de forage » sur la commune de Chatenay-Malabry déposés le 21 avril 2020 par la maîtrise d'ouvrage « Flowergy Chatenay-Malabry ».

2 REPONSES AUX PRECISIONS DEMANDEES PAR L'AUTORITE ENVIRONNEMENTALE D'ILE DE FRANCE

2.1 Remarque sur la prise en compte de l'impact du projet dans son ensemble

Le MRAe recommande de compléter l'étude d'impact pour la faire porter sur le projet global incluant le doublet géothermique, la centrale thermique et le réseau de tuyauteries sous voiries, qui constituent un ensemble indissociable pour fournir le service de chauffage urbain.

Dans le dossier, les composants concourants à la desserte énergétique de l'aménagement, à savoir le doublet géothermique, le réseau géothermal, la chaufferie centralisée et le réseau de chaleur urbain ont été décrits p83 à 90.

L'étude d'impact diligentée porte sur la réalisation du forage géothermique, dans la mesure où cet ouvrage requiert la réalisation d'une étude d'impact (chapitre 4), suivant l'article R122.2 du Code de l'Environnement (p 193).

Nous nous proposons par la suite d'étendre cette étude d'impact aux réseaux de chaleur et géothermique d'une part et à la chaufferie centralisée, bien que la construction de ces objets ne conduise pas individuellement à la réalisation d'une étude d'impact.

§4.3.8.1

Le réseau géothermal est représenté en couleur noir sur la figure 112. Le réseau de chaleur RCU est représenté en couleur rouge. Les sous-stations présentes dans les locaux techniques de chacun des bâtiments sont représentées par un rond jaune. Les réseaux s'étendent sur le périmètre des 3 parcelles concernées, conformément à la figure 112.

La chaufferie géothermique sera construite sur la parcelle 127. Le bâtiment a une emprise au sol de 500 m². La voirie extérieure associée totalise une surface de 210 m².

§4.3.12.8

Concernant la chaufferie géothermique, son positionnement correspond à une zone d'espèces à enjeux faibles conformément à la figure 136, page 246.

Les réseaux s'étendent sur des zones d'espèces à enjeux faibles ou des zones à enjeux modérés. Les travaux de réseaux de chaleur ou géothermique sont mutualisés avec les autres travaux de VRD, notamment les réseaux EU, EP et secs et réalisés sous maîtrise d'ouvrage SEMOP. Les mesures conservatoires décrites par la SEMOP s'appliquent de ce fait lors de ces opérations.

Concernant les arbres à conserver, la zone de la chaufferie géothermique n'est pas affectée par la présence d'arbres remarquables.

Pour les réseaux, la même remarque que pour les espèces s'applique. Les VRD nécessaires pour les réseaux géothermiques et les réseaux de chaleur sont construits sous voirie au même titre que les autres réseaux humides ou secs et sous maîtrise d'ouvrage SEMOP. Le tracé des voiries et des réseaux associés a donc été réalisé dans un souci d'harmoniser l'altimétrie globale du projet d'une part et de limiter le nombre d'arbres remarquables impactés.

§4.3.13.2

Dans le cadre des installations de combustion présentes dans la chaufferie géothermique, la combustion du gaz naturel est privilégiée en complément de l'emploi de la ressource géothermique. La combustion conduit nécessairement à la production d'oxyde d'azote (NOx) ainsi que de monoxyde de carbone (CO). La production d'oxyde d'azote est liée dans la chaudière à la recombinaison de l'azote et de l'oxygène présents dans l'air comburant. La production de monoxyde de carbone provient de la combustion incomplète du méthane présent essentiellement dans le gaz naturel. La production de NOx est antagoniste de la production de CO et le bon réglage des équipements de combustion permet d'atteindre des niveaux de NOx et de CO acceptables et conformes aux arrêtés ICPE s'appliquant pour des chaufferies soumises à déclaration en particulier l'arrêté du 15 juillet 2019 relativement aux installations de combustion (resp. 100 mg/Nm³ et 100 mg/Nm³ mesurés à 15% d'oxygène). Le choix du matériel sera réalisé en conformité avec les prescriptions de l'annexe I §6.2.4 relatives aux valeurs limites d'émission (VLE) de l'arrêté du 19 juillet 2019 pour les installations fonctionnant au gaz naturel, notamment par le choix de brûleurs Low NOx. L'exploitation et notamment la réalisation de mesure des débits rejetés et des teneurs des différents polluants issus de la combustion sera réalisée en conformité avec l'annexe I §6.3 de l'arrêté du 19 juillet 2019 et suivant la fréquence prescrite.

§4.4.1.2

Les impacts de la construction de la chaufferie centralisée seront minimisés par l'utilisation de matériaux de ré-emploi d'une part et issus de la centrale à béton présente dans le périmètre de la ZAC. Il est à prévoir un nombre de circulation de véhicules supplémentaires, notamment de camion à hauteur de 200 rotations environ pour la totalité de la construction de la chaufferie centralisée.

Pour la réalisation du réseau géothermique et RCU, il y a lieu de prévoir environ 40 rotations de camion pour la livraison des barres en acier pré-isolé ou en inox ainsi que pour les accessoires associés.

§4.4.2.2

Les impacts associés à l'exploitation de la chaufferie centralisée seront limités en termes de mouvement de véhicules. Ils seront associés plutôt à des véhicules légers des équipes d'exploitation et de maintenance ainsi que des équipementiers. Des nacelles élévatrices pourront être ponctuellement utilisées pour vérifier notamment les débits et rejets au niveau de la cheminée de la chaufferie, au niveau des trappes NFX.

§4.4.8

Il est nécessaire de compléter les impacts des dégagements atmosphériques par ceux associés aux chaudières gaz naturel. Les principaux produits de la combustion ont été décrits dans la présente note au titre du §4.3.13.2.

§4.4.9

Les nuisances sonores spécifiques à la chaufferie sont décrites dans le point 2 suivant de ce mémoire.

2.2 Remarque sur l'environnement sonore du site et des objectifs d'émergences de bruits.

La MRAe recommande que :

- *les mesures initiales du bruit ambiant soient réalisées et que les résultats soient rendus publics,*
- *la liste des sources de bruits, voire de vibrations, soit détaillée,*
- *les mesures de suivi du bruit tout au long du chantier et les mesures complémentaires éventuellement rendues nécessaires soient rendues publiques.*

Pour rappel, les nuisances sonores générées par le chantier de forage sont détaillées au Chapitre 4.3.14 et 4.4.9 du Per-Dotex.

Nous complétons notre dossier et le résumé des différentes mesures prévues pour réduire les impacts pendant la phase de forage par les points suivants :

Les nuisances sonores, générées par le chantier, seront liées à l'utilisation de moteur, de pompes, des vibrateurs, groupes électrogènes, de compresseurs, la rotation de l'outil et des tiges dans l'ouvrage, le choc lors du « gerbage » et « dégerbage » des tiges dans le mât et la circulation de véhicules lourds.... Une cartographie des mesures sonores, émises par les éléments principaux de la machine de forage, a été récemment établie au plus près de la machine de forage MR8000 (voir figures suivantes pour le forage au Dogger du doublet de Vigneux-sur-Seine).

L'évaluation du bruit généré par l'appareil de forage décrite dans le dossier de demande de PER-DOTEX représente les pics atteints entre 50 et 300 mètres du chantier dans un contexte qui n'est toutefois pas celui du site et qui ne prend pas en compte les conditions ambiantes du site (météorologie, topographie, circulation urbaine, tissu urbain...).

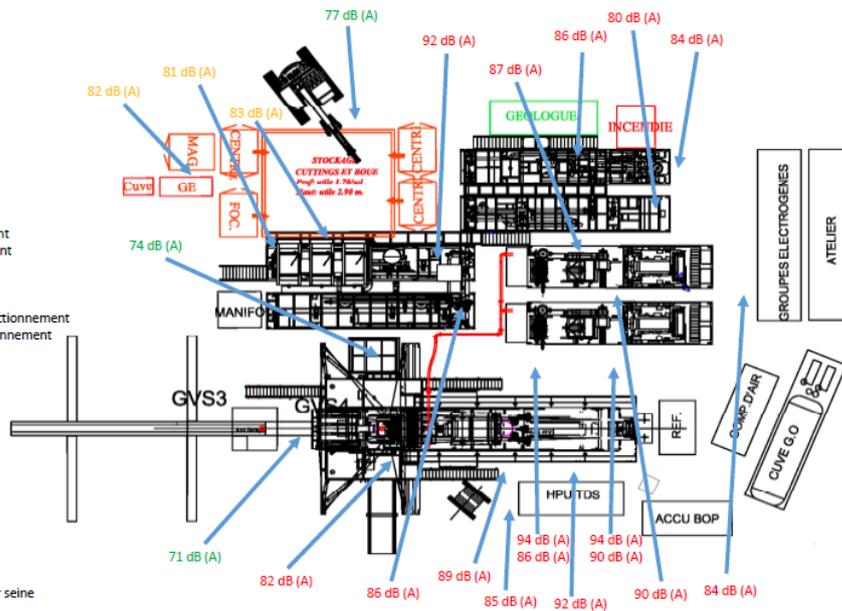


CARTOGRAPHIE DES MESURES SONORES – MR8000

Opération en cours: Back reaming

Complément d'informations:

- Pompe à boue en fonctionnement
- Centrifugeuses en fonctionnement
- Moteur rig en fonctionnement
- Mixing en fonctionnement
- Vibrateur en fonctionnement
- Agitateur bassin 2B et 4B en fonctionnement
- Groupes électrogènes en fonctionnement
- HPU TDS en fonctionnement



MR8000 - Mars 2018 – Vigneux sur seine

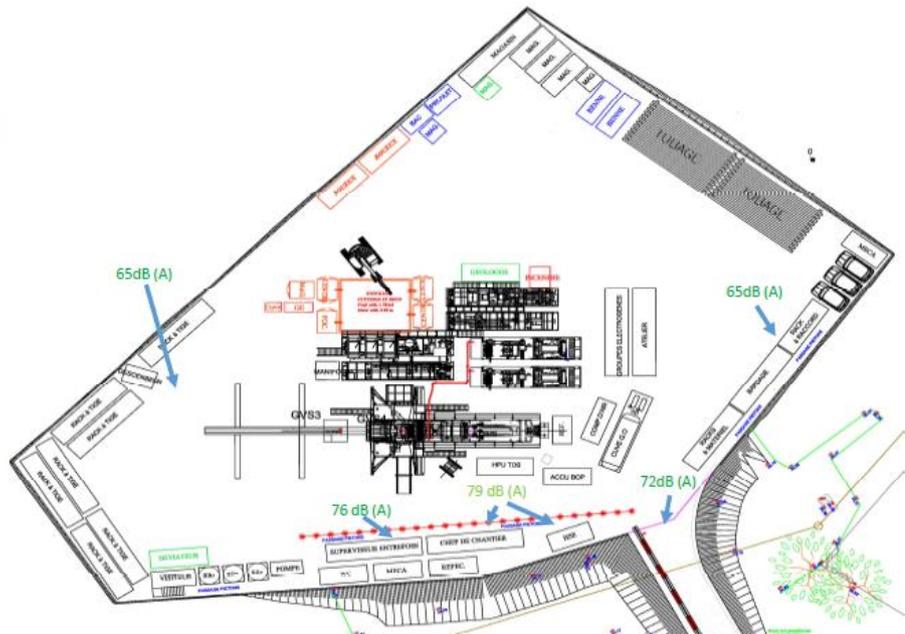


CARTOGRAPHIE DES MESURES SONORES – MR8000

Opération en cours: Back reaming

Complément d'informations:

- Pompe à boue en fonctionnement
- Centrifugeuses en fonctionnement
- Moteur rig en fonctionnement
- Mixing en fonctionnement
- Vibrateur en fonctionnement
- Agitateur bassin 2B et 4B en fonctionnement
- Groupes électrogènes en fonctionnement
- HPU TDS en fonctionnement



MR8000 - Mars 2018 – Vigneux sur seine

De manière générale, l'indicateur de mesure utilisé est le niveau acoustique équivalent LAeq, en dB(A) correspondant à la moyenne énergétique des niveaux sonores.

Ce niveau est parfois non adapté par exemple lorsque l'on note la présence de bruits intermittents porteurs de beaucoup d'énergie, mais qui ont une durée d'apparition suffisamment faible. On est dans ce cas, amené à prendre en compte l'indice fractile L50 qui correspond au niveau sonore dépassé pendant 50% du temps de

mesure. Par exemple, le L90 ou L95 correspondent au bruit de fond alors que le L5 ou L10 correspondent aux bruits les plus importants.

Par ailleurs, il est à souligner que l'indicateur principal de gêne retenu par le décret, n°2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage, est l'émergence sonore, c'est-à-dire la différence entre le niveau de bruit ambiant (obtenu lorsque l'installation est en fonctionnement) et le niveau de bruit de fond résiduel (état initial avant présence de l'installation).

Les mesures initiales de bruit ambiant ont été réalisées en 2016, lorsque le terrain concerné servait encore à accueillir les activités de l'Ecole Centrale et donc d'une activité typiquement tertiaire ; elles sont jointes dans le cadre de notre mémoire en réponse (voir Annexe 1).

Conformément à notre engagement tel qu'exprimé en page 300 de notre mémoire, **des mesures acoustiques (mesures du bruit ambiant jour et nuit) sont prévues et seront réalisées (courant 2021) par un organisme de contrôle agréé avant puis pendant les travaux afin d'établir un niveau sonore de référence avant le démarrage des travaux. Des mesures d'émissions sonores pendant le chantier notamment à proximité des ZER seront également réalisées. Les résultats de cette campagne seront mis à disposition du public.**

Dans le cas où le chantier entrainerait des dépassements des niveaux sonores réglementaires, des mesures seront mises en œuvre pour limiter le bruit émergent du chantier afin d'atteindre le plus bas niveau sonore qu'il est raisonnablement possible d'atteindre.

Pendant les travaux, l'installation d'écrans sonores ou murs anti-bruit aux abords du site (murs de paille, bâche acoustique, containers empilés, capitonnage des moteurs) et des mesures complémentaires (jour, nuit) du bruit et des émergences sonores à différents points (site, habitations) pourront être appliquées si les niveaux sonores réglementaires ne sont pas atteints.

Le maître d'ouvrage s'engagera à intégrer la contrainte sonore dans le cahier des charges établi pour la réalisation des travaux. Elle constituera donc un critère de choix lors de la phase de consultation des entreprises de forage.

La liste des nuisances sonores a été caractérisée, aussi bien pour les impacts temporaires associés au chantier de forage (§4.4.9.1), ainsi que sur les impacts permanents (§4.4.9.2.). Dans le cadre de l'étude d'impact global du projet, tel que décrit au point 1 de ce mémoire en réponse, nous pouvons caractériser :

En cours de chantier :

- Spécifiquement en rapport avec l'activité du pétitionnaire Flowergy Chatenay-Malabry :
 - Bruits associés à la construction de la chaufferie centralisée, notamment ceux relatifs à l'usage de tours à grue, de pompes à béton, d'engins d'excavations, d'outils électro-portatifs ... La source de bruit est limitée au lot F, qui héberge le bâtiment de la chaufferie centralisée. Ces bruits seront présents essentiellement au cours du 2^{ème} semestre de l'année 2021 et les activités essentiellement concentrées sur des périodes de journée (hors week-end et jours fériés).
 - Bruits associés aux activités de forage durant la campagne de 11 semaines de forage ; y compris les mesures que le pétitionnaire se propose de mettre en œuvre.
- En rapport avec les autres activités des promoteurs et de l'aménageur présents sur le périmètre de la ZAC :

- Bruits associés à la construction des immeubles à usage de logement ou/et d'activité ou à l'aménagement des espaces publics, notamment ceux relatifs à l'usage de tours à grue, de pompes à béton, d'engins d'excavations, d'outils électro-portatifs ... La source de bruit est limitée à chaque bâtiment concerné. Ces bruits seront présents suivant le planning de construction des différents lots entre 2020 et 2028. Les activités essentiellement concentrées sur des périodes de journée (hors week-end et jours fériés).

En phase d'exploitation de l'aménagement :

- Spécifiquement en rapport avec l'activité du pétitionnaire Flowergy Chatenay-Malabry
 - Bruits associés à la centrale géothermique, partiellement décrits en page 301. Ces activités correspondent à la combustion de gaz naturel en particulier associé au brûleur des chaudières (typiquement 82 dB(A)), bruits associés au fonctionnement des pompes à chaleur (typiquement 103 dB(A) sans capotage phonique et 85 dB(A) avec capotage phonique), bruits associés au fonctionnement des pompes du réseau de chaleur urbain, ainsi que les transformateurs de distribution électrique alimentant les PAC. Le fonctionnement de ces équipements est de type continu ou semi-continu, notamment durant la période hivernale. Une attention particulière a été apportée dans la conception de la chaufferie centralisée pour assurer une désolidarisation des massifs des supports des équipements ainsi que des tuyauteries pour éviter le transport des bruits solidiens. Une attention particulière en phase de conception aussi bien qu'en phase de construction sera apportée sur les procédés constructifs ainsi que sur les matériaux pour assurer une atténuation efficace des bruits (flocage acoustique, ventilations des locaux avec piège à son, ...)
- Bruits associés aux activités humaines typiques d'un quartier dans un environnement urbain.
- Il est à noter que l'opération spécifique présentée par le pétitionnaire est circonscrite dans le temps pour la partie des travaux à réaliser ; il est possible que l'environnement au titre des installations du pétitionnaire soient en phase d'exploitation, alors que certains lots de promotion seront encore en phase de construction.
- Le bruit environnant résulte des activités humaines existantes caractérisé au paragraphe 4.3.14.1 de notre mémoire technique.

2.3 Remarque sur le scénario d'éruption non contrôlée des puits et des impacts pour la population

La MRAe recommande que le scénario d'éruption non contrôlée des puits et ses impacts soient décrit plus précisément, et que l'étude d'impact présente les analyses et informations qui permettent d'assurer la pertinence des mesures envisagées au regard de la réalité des risques pour la population avoisinante et le personnel.

La substance exploitée est ici un fluide (eau chaude salée du Lusitanien), qui, contrairement à d'autres fluides comme les hydrocarbures, ne possède pas de propriétés d'inflammation ou d'explosion.

En phase chantier de forage, la prévention contre les éruptions de fluide et les déversements accidentels est assurée par un dispositif de contrôle des éruptions de type BOP (Bloc Obturateur de Puits). La pression nominale usuelle des BOP13 est de plus de 200 bars (sur tige et tige en dehors) ce qui est sécuritaire, car la pression en tête de puits n'excède pas 8 bars.

De plus, le chantier disposera d'un stock de sel en permanence : 25 tonnes, permettant la fabrication de plus de 100 m³ de saumure à densité = 1,15, pour neutraliser l'artésianisme. Une ligne d'injection de saumure sera maintenue en permanence en état de fonctionnement.

La mise en place d'un BOP en tête de puits permet également d'éviter toute production accidentelle de gaz.

Le seul risque concernant la sécurité des populations est l'émanation d'H₂S, contenu à faible dose dans l'eau géothermale, notamment lors des opérations de stimulation du réservoir par acidifications. En cause le pH du milieu et une réaction chimique avec l'acide et les sulfure de fer présents dans l'eau géothermale.

La présence de gaz dissous (dont l'H₂S) au sein du fluide géothermal est inconnue pour l'aquifère du Lusitanien compte tenu de son caractère exploratoire. A titre d'exemple, l'hypothèse d'un comportement identique à celui du Dogger, est anticipée avec une teneur en gaz H₂S d'environ 0,5% du ratio gaz/fluide lui-même d'environ 10%. (Soit pour une fuite d'eau géothermale de 10 m³/h, l'équivalent d'une fuite de 5 litres/h en H₂S).

L'H₂S n'est pas inflammable dans les conditions habituelles de chantier (la limite d'inflammabilité dans l'air est de 4-46 % volume d'air, sa température d'auto inflammation étant de 250 °C). Ce gaz est susceptible d'incommoder les populations par son odeur « d'œuf pourri » entre 0,02 et 0,1 ppm mais ne constitue pas un seuil d'alerte. A fortes doses, il n'est plus perçu par l'odorat et entraîne alors des lésions des centres nerveux et respiratoires. Le tableau suivant détaille le seuil des effets sur la santé en fonction de la concentration et la durée d'exposition au gaz (source INERIS).

Concentration en H ₂ S		Durée d'exposition	Effets sur l'homme
ppm	mg / m ³		
0,0005 - 0,13	0,0007 – 0,2	< 1 min	Seuil olfactif
10,5 - 21	16 - 32	6-7 h	Seuil d'irritation oculaire
50 - 100	75 - 150	> 1 h	Irritation des muqueuses oculaires et respiratoires
150 - 200	225 - 300	2-15 min	Seuil de perte de l'odorat

En phase d'exploitation, la pression du fluide géothermal doit être maintenue constamment au-dessus du point de bulle afin d'éviter tout dégazage conformément aux prescriptions du futur permis d'exploitation.

Des appareils ou dispositifs (fixe ou portatif) permettant de détecter d'éventuelles émissions d'H₂S sont installés sur le chantier et par l'exploitant et sont déclenchés au seuil alerte de 10 ppm, afin de détecter la présence de ce gaz et y remédier. En cas de perception d'odeur, l'exploitant est tenu d'assurer une ventilation et de procéder à des mesures de concentrations.

Ce gaz a toutefois la particularité de s'accumuler dans les points bas, compte tenu de sa densité 1.19, ou les milieux confinés. En cas de fuite non maîtrisée, le « nuage » d'H₂S qui pourrait s'accumuler se fera essentiellement à proximité des puits et dans les milieux bas confinés notamment. Le gaz sera ensuite dilué et ventilé avec l'air ambiant.

Pour rappel, dans le cadre de son permis d'exploitation, l'exploitant est tenu de respecter ou de faire respecter l'ensemble des consignes d'exploitation, ainsi que l'entretien et la maintenance des puits et du matériel qui lui sont confiés. L'installation industrielle qu'est l'exploitation de deux puits géothermiques a une obligation de surveillance, d'inspection et de contrôle de l'état de ses installations.

Un suivi en continu des données d'exploitation (pression en tête, mesure du débit, température..), des inspections réglementaires (diagraphies, essais périodiques, suivi géochimique du fluide...) ainsi que des dispositifs d'intervention d'urgence (vannes manuelles, vannes de tuage des puits, commandes automatisées) sont mis en place sur les puits. Les paramètres électriques de fonctionnement des pompes (tension, intensité, fréquence) doivent également faire l'objet d'un contrôle régulier.

L'inspection des abords des têtes de puits et la vérification que toutes les précautions sont prises pour éviter les dommages que pourrait causer une éruption d'eau géothermale sont organisées par l'exploitant (mesures de protection des têtes de puits et d'autres éléments de la boucle contre d'éventuelles agressions mécaniques).

L'exploitant délimite une zone autour des têtes de puits à l'intérieur de laquelle les risques inhérents à d'éventuelles ruptures d'équipements sont susceptibles de donner lieu à des fuites incontrôlées à une température pouvant occasionner des brûlures aux personnes et interdit l'accès à cette zone à toute personne non autorisée. Il en est de même lors de travaux.

Les têtes de puits seront équipées d'un système d'étanchéité pour prévenir une éruption d'eau géothermale, ainsi que d'un flexible installé et branché sur une conduite latérale qui permet en cas de nécessité de neutraliser la pression en tête de puits par injection de saumure.

A chaque intervention sur les puits pendant des travaux ou des inspections réglementaires, les risques d'éruption ou de présence éventuelle d'H₂S sont pris en compte dans un Plan de Prévention de Secours (PPS) et sont transmis à la DRIEE au moins un mois avant le début des travaux.

Chaque exploitant dispose d'un Plan d'Intervention et de Secours (PIS) intégré aux dispositifs de sécurité de son installation et sont gérés par le contrat anti-éruption souscrit par le demandeur.

La société Géofluid propose un abonnement au dispositif d'urgence Anti-Eruption ou intervient en cas de fuites d'eau géothermale non maîtrisée et en cas de non fonctionnement des sécurités sur les installations géothermales.

En cas d'apparition d'une fuite d'eau géothermale sur la boucle de surface (au-dessus des vannes maitresse), avant toute intervention de réparation, l'exploitant est tenu d'arrêter la production géothermale, de consigner les variateurs de production/injection et leur protection électrique et de fermer les vannes d'isolement de la boucle (en centrale si la fuite est maîtrisable) sinon de fermer les vannes maîtresses en caves têtes de puits.

Si la fuite ne peut être stoppée (fuite sous les vannes maîtresse ou débit de fuite supérieur à la capacité des pompes vides-caves) ou que les vannes maîtresses sont inaccessibles, le dispositif d'urgence Anti-éruption est déclenché.

Le délai d'exécution de la société Geofluid, basée à Roissy Charles de Gaulle, est au maximum de 4h, pour constater et évaluer les moyens à mettre en œuvre. Après constat des moyens à utiliser, l'entreprise dispose d'un délai maximum de 8 h pour acheminer sur site le matériel et réaliser l'intervention.

2.4 Remarque sur les conditions de fermeture des puits et de remise en état

La MRAe recommande de présenter dans l'étude d'impact les conditions de fermeture des puits et de remise en état du site en cas d'abandon des installations d'exploitation du gîte.

La procédure d'abandon survient lorsque l'exploitation d'un site géothermique est arrêtée, le plus souvent après un diagnostic ayant démontré le mauvais état des ouvrages ne permettant plus l'exploitation de la ressource. Les puits sont abandonnés en appliquant la réglementation et les règles de l'art en la matière. L'objectif est la mise en sécurité des ouvrages et de leur environnement en rétablissant une étanchéité définitive des différentes zones traversées par les ouvrages :

- mise en sécurité ciblée des zones du forage dont le diagnostic a montré une détérioration importante ; des bouchons de ciment spécifiques pourront être installés au droit de ces zones ;
- protection spécifique des sabots des tubages et des zones de raccordement ou de télescopage entre tubages ;
- protection des différents aquifères traversés par le forage, en particulier celui de l'Albien et Néocomien dans le cas d'un doublet au Lusitanien ou de l'Albien en cas de forage repli au Néocomien, qui est une réserve stratégique protégée d'eau potable pour la région parisienne ; le programme de rebouchage des puits est établi de façon que ces zones soient rendues étanches à une invasion par des fluides géothermaux ;
- mise en sécurité du puits vis-à-vis des risques de fuite de fluides géothermaux (de l'intérieur vers l'extérieur du puits) ou de contamination des nappes via les annulaires. Il s'agira d'assurer par un rebouchage adéquat (bouchons étanches résistants aux pressions) que les fluides géothermaux ne puissent circuler ni à l'intérieur du puits, ni dans les annulaires. De la même façon, on s'assurera que les eaux de surface (ruissellement, inondation) ne puissent pas pénétrer à l'intérieur de l'ouvrage ou par les annulaires depuis la surface.

En cas d'arrêt définitif de l'exploitation du gîte, le maître d'ouvrage adressera au Préfet à l'attention de ses services techniques instructeurs, une déclaration d'arrêt d'exploitation accompagnée d'une procédure d'abandon et de sécurisation des ouvrages.

La fermeture des forages géothermiques relève de la même réglementation et des mêmes pratiques que celles appliquées aux puits d'hydrocarbures. Les mesures d'abandon sont définies par des textes réglementaires et techniques (Code Minier, Loi sur l'Eau), notamment par le Décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers et par le Décret n°2000-278 du 22 mars 2000, modifiant le Décret 80-331 du 07 mai 1980. Il introduit un Titre "Recherche par Forage, Exploitation de Fluides par Puits, Traitement de ces Fluides" dans le Règlement Général des Industries Extractives qui se substitue au Titre "Forage" (Article 49 - Fermeture définitive des puits).

La procédure détaillée décrite par le Maître d'Ouvrage dans le programme d'abandon est préalablement proposée à la DRIEE pour approbation, conformément à l'arrêté d'exploitation qui la prévoit. Cette procédure reprend habituellement les recommandations du Comité des Techniciens de la Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production relative à la fermeture définitive des puits pétroliers.

L'objectif des travaux d'abandon est leur transfert de propriété à l'Etat dans les meilleures dispositions pour obtenir le quitus de l'Etat.

Avant de réaliser la cimentation des bouchons d'abandon au droit des zones à risque, il sera indispensable de déterminer l'état complet des tubages (inspection et diagraphies) et de placer judicieusement les bouchons de ciment.

L'abandon sera réalisé dans le respect des règles de l'art et dans les conditions optimales de sécurité par rapport à la protection des aquifères sensibles, en évitant par conséquent toutes connections hydrauliques entre aquifères. Le cas échéant et en fonction de la qualité de la cimentation des cuvelages au droit de l'aquifère de l'Albien / Néocomien, des bouchons supplémentaires pourraient être mis en place.

A titre d'exemple, le positionnement des bouchons de ciment se fait généralement de la manière suivante :

- Un bouchon au toit du réservoir du Lusitanien jusqu'à 50 mètres au-dessus du sabot ;
- Un bouchon couvrant jusqu'à 50 mètres au-dessus et en-dessous l'aquifère de l'Albien-Néocomien ;
- Un bouchon au bas de la chambre de pompage pour le puits producteur.
- Un bouchon en surface ;
- Les têtes de puits (complétion) pourront être conservées ou démantelées selon l'évaluation de l'état de cet empilement de surface.

En surface, les travaux de remise en état des sols sont proposés par l'opérateur dans un dossier qui est soumis à la consultation des services administratifs concernés. Ce dossier décrit l'état des têtes de puits à l'issue de l'abandon et indique l'usage des sols envisagé par la suite. Des travaux spécifiques peuvent être prescrits lorsque des contraintes environnementales particulières sont attendues. En relation avec l'aménageur de la ZAC, il a été tenu compte de surfaces nécessaires pour l'abandon des puits dès la genèse du projet. Ces surfaces sont destinées à des fonctions qui permettront rapidement leur réversibilité pour établir un chantier d'abandon de puits géothermique (ferme urbaine, jardin public). Les espaces publics seront par ailleurs rétrocédés en fin de phase d'aménagement à la Ville de Chatenay-Malabry, qui est informée de la contrainte associée dans le cadre d'un éventuel programme de rebouchage.

2.5 Remarque sur la justification technique de l'aquifère visé

La MRAe recommande que la justification des choix techniques du projet soit explicitée et notamment le choix des solutions techniques, le choix de l'aquifère ressource du Lusitanien non exploité à ce jour en Île-de-France, avantage et inconvénients d'un projet fondé sur une démarche exploratoire.

L'objectif du futur projet de géothermie envisagé sur la ZAC de Chatenay-Malabry est d'atteindre la puissance théorique maximale d'environ 4,3 MW d'ici 2023.

Pour atteindre cet objectif, la valorisation de différents aquifères a été étudiée :

- Le captage de l'aquifère de l'Albien pour lequel la puissance disponible est *a priori* insuffisante;
- Le captage de l'aquifère du Néocomien pour lequel la puissance disponible est en adéquation avec le projet mais qui présente une exploitation pouvant être délicate sur le long terme ;
- Le captage de l'aquifère du Lusitanien pour lequel la puissance disponible est en adéquation avec le projet, et dont les travaux ont un caractère exploratoire.

La solution présentant la plus grande pertinence technico-économique est la réalisation d'un doublet géothermique ciblant le Lusitanien avec une solution de repli ciblant le Néocomien compte tenu de son caractère exploratoire.

La matrice ci-dessous décrit les principales solutions abordées au cours de cette étude ainsi que les principales options techniques visant à identifier la meilleure adéquation entre besoins exprimés par le réseau et la ressource. Les avantages et inconvénients ainsi que les limites techniques et économiques des solutions projetées sont détaillées dans le tableau suivant.

Pour rappel, de récents projets exploratoires ont eu lieu ou sont projetés pour la filière de la géothermie profonde. Le projet SIPPAREC de quadruplet (deux doublets) exploratoire est en cours à Bobigny-Drancy visant l'aquifère profond du Trias avec une solution de repli au Dogger. Des projets visant le Dogger avec des techniques de forage exploratoires ont également été projetés ; à Vélizy avec des forages en multi-drains (en cours) ou multi-canaux et à Cachan avec le forage de deux drains sub-horizontaux (réalisé).



Aquifère		Lusitanien		Commentaires
Ressource géothermale	Avantages	<ul style="list-style-type: none"> -Indices de calcaires oolithiques perméables au Séquanien/Rauracien sur de nombreux ouvrages existants au Dogger dont l'ancien doublet de Chatenay. -Température de la ressource 55 ± 5°C (plus chaude que l'Albien et le Néocomien) - Ressource avérée au droit d'Alfortville et Fresnes (fuite lors des travaux de work over) et à Ivry-sur-Seine et Orly (lors de forage au Dogger). -Aucun ouvrage existant captant cet aquifère aucun conflit d'usage à prévoir. -Optimisation du positionnement des cibles possible. -Coût moins important que pour un doublet au Dogger. 		<ul style="list-style-type: none"> - Le caractère carbonaté, composé de calcaires graveleux et oolithiques, est similaire au Dogger ce qui implique le développement classique du réservoir et la réalisation d'une exploitation en trou nu. -Indices favorables pour l'exploitation au Lusitanien dans le secteur d'étude. - Le caractère exploratoire du projet impose de prendre des hypothèses de productivité/injectivité faibles et d'anticiper un scénario pessimiste.
	Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Estimation de la perméabilité du réservoir incertaine. - Réservoir mal connu d'où une limitation du débit maximal d'exploitation à 150 m³/h. - Coût forage plus important (profondeur plus élevée par rapport au Néocomien ou Albien). 		
Mode de production	Doublet			<ul style="list-style-type: none"> - Ecartement des puits du doublet optimisé à 1100 m pour un déplacement maximal de 650 m pour le puits injecteur soit une déviation maximale de 45°. Le puits producteur peut être vertical compte tenu de l'éloignement des deux têtes de puits en surface - Décroissance thermique très faible pour le scénario projeté après 30 ans d'exploitation (entre -0,1°C à -0,5°C).
	Avantages	<ul style="list-style-type: none"> -Aucun doublet existant au Lusitanien. Aucun impact hydraulique ou thermique à anticiper. - Pas de contraintes techniques particulières car forage du réservoir en trou nu (pas de crépine ni massif filtrant) -Ecartement des puits suffisant pour anticiper la percée thermique. -Sécurisation de l'exploitation sur 30 ans. 		
	Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> -Minéralisation du fluide géothermal accrue par rapport au l'eau du Néocomien. Risques de corrosion et dépôts à prévoir. 		
Mode de captage du réservoir		Forage en petit diamètre 6" ou classique 8"1/2	Forage en gros diamètre 9"1/2	<ul style="list-style-type: none"> - La productivité prévisionnelle du réservoir dans le secteur d'étude et les débits visés ne nécessitent pas de forage en gros diamètre. - Pas de développement particulier (ex jetting..) mais programme d'acidification classique du réservoir en fin de forage.
	Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Très bon retour d'expérience de cette complétion au Dogger compte tenu des débits visés et du caractère carbonaté du Lusitanien. - Permet le captage d'un débit jusqu'à 250 m³/h si une bonne productivité est avérée. 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la productivité du réservoir - Permet le captage d'un débit jusqu'à 350 m³/h si une bonne productivité est avérée. - Limitation des vitesses dans les tubages et des vitesses d'arrachement au niveau du trou nu. 	
	Inconvénients	-	- Surcoût de forage non négligeable.	
Complétion		Acier	Composite	<ul style="list-style-type: none"> - La corrosivité et la minéralisation du fluide géothermal du Lusitanien doivent être anticipées. - La descente de tubage en composite dans un puits vertical (puits producteur) sera facilitée. - Pour le puits injecteur, la descente d'un liner non cimenté dans un puits déjà tubé en acier est possible dans la limite d'un gradient d'inclinaison qui ne dépasse pas 1°/10 m. Cette solution a été retenue dans le cas d'un nouveau doublet au Lusitanien en limitant l'inclinaison du puits injecteur à 45°. -Le risque de percement et donc de contamination d'aquifères supérieurs par l'eau du Lusitanien est moins important pour des tubages en composite. -Les risques de perforation/fuite fortement réduit en cas de mauvaise cimentation au droit de zones aquifères.
	Avantages	<ul style="list-style-type: none"> -Descente du casing facilitée, possibilité de pousser le tube si résistance mécanique. -Protection accrue des aquifères sus-jacents. -Mise en œuvre plus rapide. -Forte résistance aux chocs et descente d'outils. 	<ul style="list-style-type: none"> -Insensibilité aux phénomènes de corrosion/dépôts. -Pas de traitement en inhibiteur de corrosion ni tube de traitement. -Durée de vie des ouvrages plus importante. -Moins ou pas de travaux de réhabilitation lourde et coûteux (curage, rechemisage...). -Meilleure visibilité des coûts d'entretien (pertes de charge et consommations électriques stables). -Diminution des coûts d'exploitation (P1-P3). 	
	Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> -Mise en œuvre sensible des casing dans des puits fortement déviés. -Problématique des qualités de cimentation si mauvaise centralisation. -Sensibilité aux phénomènes de corrosion et dépôts des tubages en acier. Traitement obligatoire. -Augmentation des pertes de charges tubages sur le moyen/long terme. -Poids des tubes plus importants nécessitant une machine à plus grande capacité au crochet: surcoût de forage 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en œuvre plus longue et plus coûteuse. - Faible retour d'expérience de la méthode. Difficulté à mettre en place un casing composite directement dans l'openhole et de le cimenter au terrain. - Problématique des qualités de cimentation si mauvaise centralisation. - A épaisseur égale, les tubes composite sont mécaniquement moins résistants que les tubages acier. - Limitation de l'inclinaison des puits et GBU maximum à 1°/10m. 	