

Sommaire

Résumé non technique.....	4
Introduction à la géothermie basse température	5
Localisation.....	8
Evaluation des besoins	11
Travaux de forage projetés.....	17
Calendrier des travaux.....	24
Evaluation des impacts du projet	25
Evaluation de l'impact acoustique du projet en phase travaux de forage et principales mesures retenues	31
Rappels des enjeux liés à la pollution du sol pour le projet et mesures associées	41
Rappels des enjeux liés à la biodiversité pour le projet et mesures associées	42
Géothermie et risque sismique	43
Glossaire	46
Annexes	50
Annexe 1 – Courrier d'accord d'Argéo sur l'impact envisagé du doublet du Kremlin-Bicêtre	51
Annexe 2 – Rapports acoustiques – AD Ingénierie.....	52
Annexe 3 – Courrier de l'EPFIF sur la réalisation des études de pollution puis portage de la démolition & Diagnostic de pollution des sols	53
Annexe 4 – Communiqué AFPG sur la sismicité en géothermie profonde	54
Annexe 5 – Mémoire d'analyse des risques sismiques	55
Annexe 6 – Dossier d'étude au cas par cas et Réponse DRIEAT.....	56

Table des figures

Figure 1 – Principe de fonctionnement d'un doublet géothermique (source : ADEME/BRGM)	5
Figure 2 – Réseaux de chaleur géothermiques en Île de France en 2019 (source : étude de marché AFPG 2019)	6
Figure 3 – Doublets géothermiques au Dogger en Île-de-France (source : BRGM)	7
Figure 4 – Zone d'implantation du futur doublet du Kremlin-Bicêtre (source : Géoportail)	8
Figure 5 – Autorisation de recherche sollicitée et permis d'exploitation conventionnel envisagé pour le projet du Kremlin-Bicêtre	9
Figure 6 – Autorisation de recherche sollicitée et permis d'exploitation multidrains envisagé pour le projet du Kremlin-Bicêtre	10
Figure 7 – Plan de situation des réseaux de chaleur à proximité (Source : France Chaleur Urbaine) ..	11
Figure 8 – Espaces urbains et secteurs d'équipements du Kremlin-Bicêtre	13
Figure 9 – Tracé prévisionnel du réseau de chaleur, scénario 1 avec export non défini	15
Figure 10 – Tracé prévisionnel du réseau de chaleur, scénario 2 avec export défini	15
Figure 11 – Bilan de production pour le scénario 1 : Kremlin-Bicêtre et export prévisionnel	16

Figure 12 – Bilan de production pour le scénario 2 : projet intercommunal	16
Figure 13 – Exemples d’ateliers de forages géothermiques	17
Figure 14 – Coupe prévisionnelle d'un des ouvrages (à titre indicatif).....	19
Figure 15 – Panaches de température simulés en 2025	20
Figure 16 – Panaches de température simulés en 2056	21
Figure 17 – Panaches de température simulés en 2056 pour le cas multi-drains	21
Figure 18 – Impact hydraulique sur les doublets existants après 30 ans d'exploitation et 6 mois à débit maximum du nouveau doublet conventionnel.....	22
Figure 19 – Impact hydraulique sur les doublets existants après 30 ans d'exploitation et 6 mois à débit maximum du nouveau doublet multi-drains	22
Figure 20 – Point de mesure réalisé dans le cadre de l’évaluation de l’état sonore initial avant-projet	31
Figure 21 – Localisation des points de mesure pour la modélisation acoustique de l'impact du chantier sur la zone du projet de géothermie (Source : AD Ingénierie)	34
Figure 22 – Modélisation 3D du site dans CadnaA avec les appareils retenus pour les estimations de bruit du chantier du Kremlin-Bicêtre (Source : AD Ingénierie)	35
Figure 23 – Cartographie sonore en dBA (Source : AD Ingénierie)	36
Figure 24 – Mise en place d'un écran acoustique pour limiter l'impact du bruit sur les commodités autour du projet (Source : AD Ingénierie).....	37
Figure 25 – Cartographie sonore en dBA à 1,5m de hauteur avec implantation d’un écran de 8m (Source : AD Ingénierie).....	38
Figure 26 – Cartographie sonore en dBA à 1,5m de haut avec implantation d’un écran de 8m et de traitements à la source (Source : AD Ingénierie)	39
Figure 27 – Schéma du fossé rhénan (source : Eduterre)	43
Figure 28 – Schéma du Bassin parisien (source : BRGM).	44

Table des tableaux

Tableau 1– Hypothèses prises pour les estimations	12
Tableau 2– Hypothèses des baisses de consommations	13
Tableau 3 – Résumé des travaux dans leur ensemble	18
Tableau 4 – Calendrier des travaux.....	24
Tableau 5 – Synthèse des enjeux du projet principales mesures d’évitement, de réduction et de compensation qui seront mises en œuvre	28
Tableau 6 – Valeurs moyennes des mesures du bruit résiduel en 1 point de mesure en périodes diurne et nocturne en longue durée (du 28 novembre au 2 décembre 2024).....	32
Tableau 7 – Objectifs globaux au niveau des riverains en Zone à Emergence Réglementée	32
Tableau 8 – Sources de bruit et puissances considérées par appareil pour la modélisation acoustique du chantier du Kremlin-Bicêtre (Source : AD Ingénierie)	33
Tableau 9 – Résultats par point de calcul en dBA (Source : AD Ingénierie)	36
Tableau 10 – Résultats par point de calcul en dBA (Source : AD Ingénierie)	38
Tableau 11 – Gains complémentaires en dBA (Source : AD Ingénierie)	39

Résumé non technique

En 2022, la Ville du Kremlin-Bicêtre s'est associée au SIPPAREC, Syndicat d'énergie intercommunal d'Ile-de-France, pour lancer une étude de faisabilité relative à la création d'un réseau de chaleur alimenté par des énergies renouvelables et proposer ainsi au territoire communal une énergie de chauffage locale et renouvelable au meilleur prix.

Dans le respect de la démarche EnR'Choix de l'Ademe, la solution de géothermie a été étudiée en priorité. Au regard des différents scénarii proposés, la ville du Kremlin-Bicêtre a retenu le scénario 1 qui prévoit de confier à un opérateur privé la réalisation d'un réseau de chaleur de près de 9,7 km sur la commune intégrant au projet un export de chaleur renouvelable vers les villes limitrophes par le biais de sous-stations d'échange en limite communale.

Les têtes de puits seront implantées sur le terrain Lech Walesa, localisé dans la partie sud-est de la commune. La centrale géothermique (où s'effectue l'échange de chaleur) sera construite à côté des forages. L'emprise après travaux (hors centrale géothermique et surface de maintenance) sera restituée à la ville du Kremlin-Bicêtre pour un projet non défini à ce stade, de logements et/ou de service public.

En régime établi, le taux d'énergies renouvelables du réseau de chaleur serait de 70,4%, permettant d'atteindre les objectifs environnementaux fixés dans le cadre du projet (un taux d'énergies renouvelables supérieur à 65%). Le scénario retenu pour le futur réseau de chaleur devrait permettre de couvrir 84,5 GWh/an, dont 48 GWh/an pour le Kremlin-Bicêtre seul.

Dans ce cadre, le SIPPAREC sollicite donc une autorisation de recherche (AR) et une demande d'autorisation environnementale (DAENV), volet travaux miniers, pour un gîte géothermique au Dogger pour un nouveau doublet. Le présent dossier sera déposé à cet effet en préfecture du Val-de-Marne et sera soumis à une enquête publique. Une demande d'examen au cas par cas préalable à la réalisation éventuelle d'une évaluation environnementale et un complément de cette étude au cas par cas ont également été réalisés (le dossier d'étude au cas par cas et la réponse de la DRIEAT sont disponibles en annexe 6).

Conformément à la réglementation en vigueur, la présente demande d'autorisation de recherche et d'ouverture de travaux minier (AR-DAENV) est sollicitée pour une durée maximale de 3 ans. A l'issue des travaux de forage du doublet, et en cas de succès des forages, un permis d'exploitation sera demandé pour une durée initiale de 30 ans, prolongeable par période de 15 ans.

Introduction à la géothermie basse température

La géothermie basse température ou basse enthalpie consiste en l'extraction d'une eau à une température comprise entre 60°C et 85°C, à partir de gisements situés entre 1 500 et 2 500 mètres de profondeur. L'essentiel des réservoirs exploités se trouve dans les bassins sédimentaires comme le Bassin de Paris. L'exploitation de ce type de géothermie repose sur un fonctionnement en doublet (cf. Figure 1) :

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

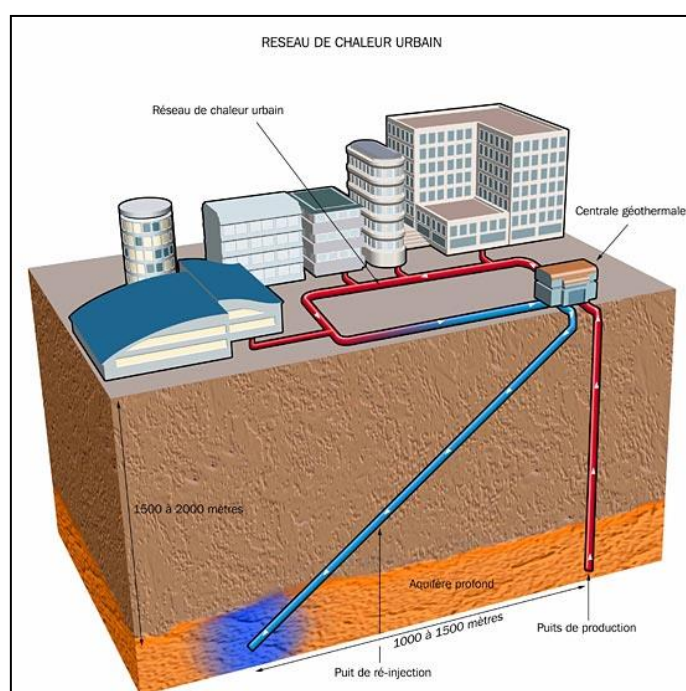


Figure 1 – Principe de fonctionnement d'un doublet géothermique (source : ADEME/BRGM)

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

L'Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG) a édité une étude de marché en 2019 sur la géothermie en France répertoriant 40 réseaux de chaleur exploitant la géothermie au Dogger, sous forme de doublets ou de triplets de forage. Les réseaux de chaleur bénéficiant de la géothermie alimentent près de 210 000 équivalents logements.

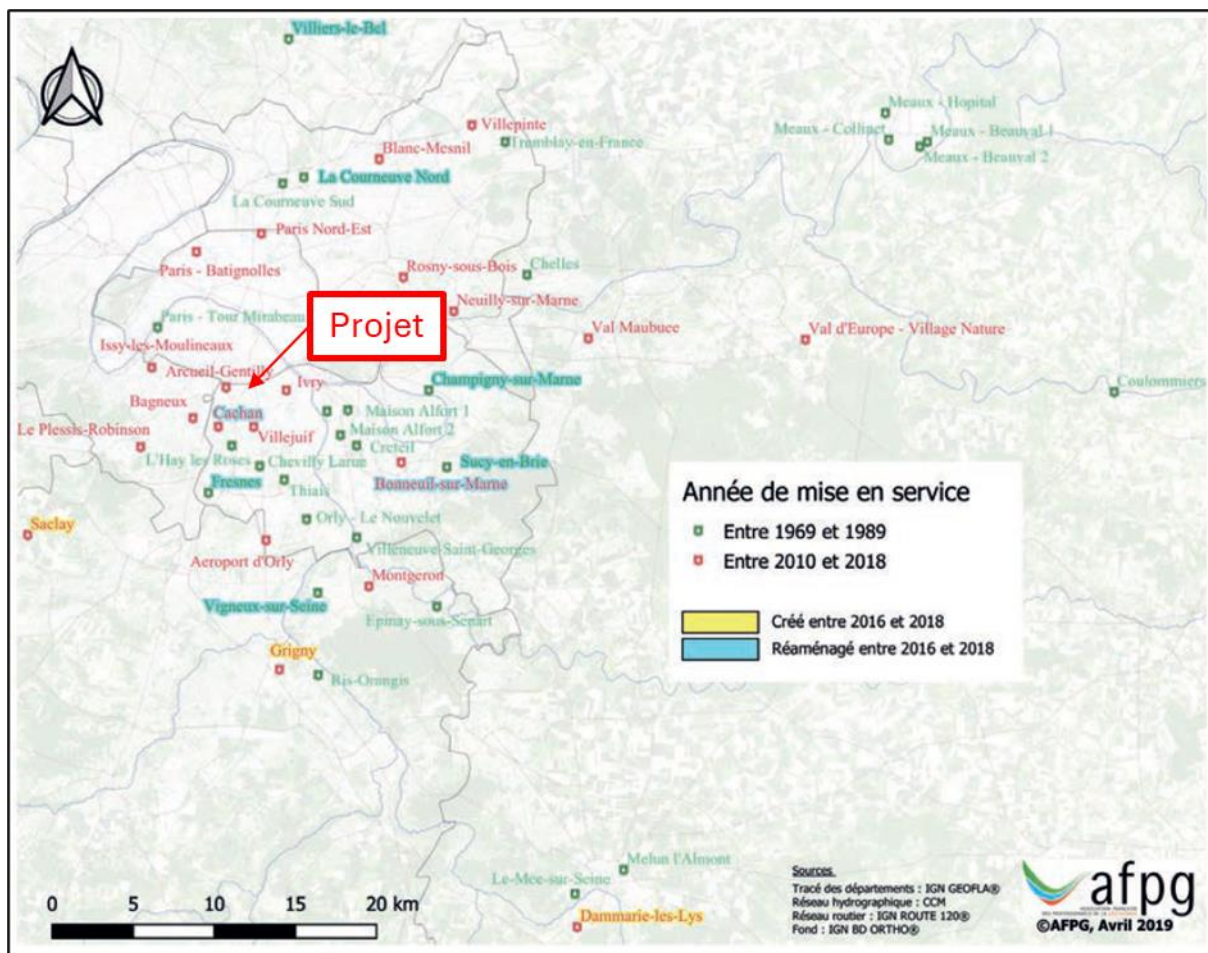


Figure 2 – Réseaux de chaleur géothermiques en Île de France en 2019 (source : étude de marché AFPG 2019)

Le BRGM met également à disposition du public une carte des forages géothermiques au Dogger en Île-de-France (cf. Figure 3).

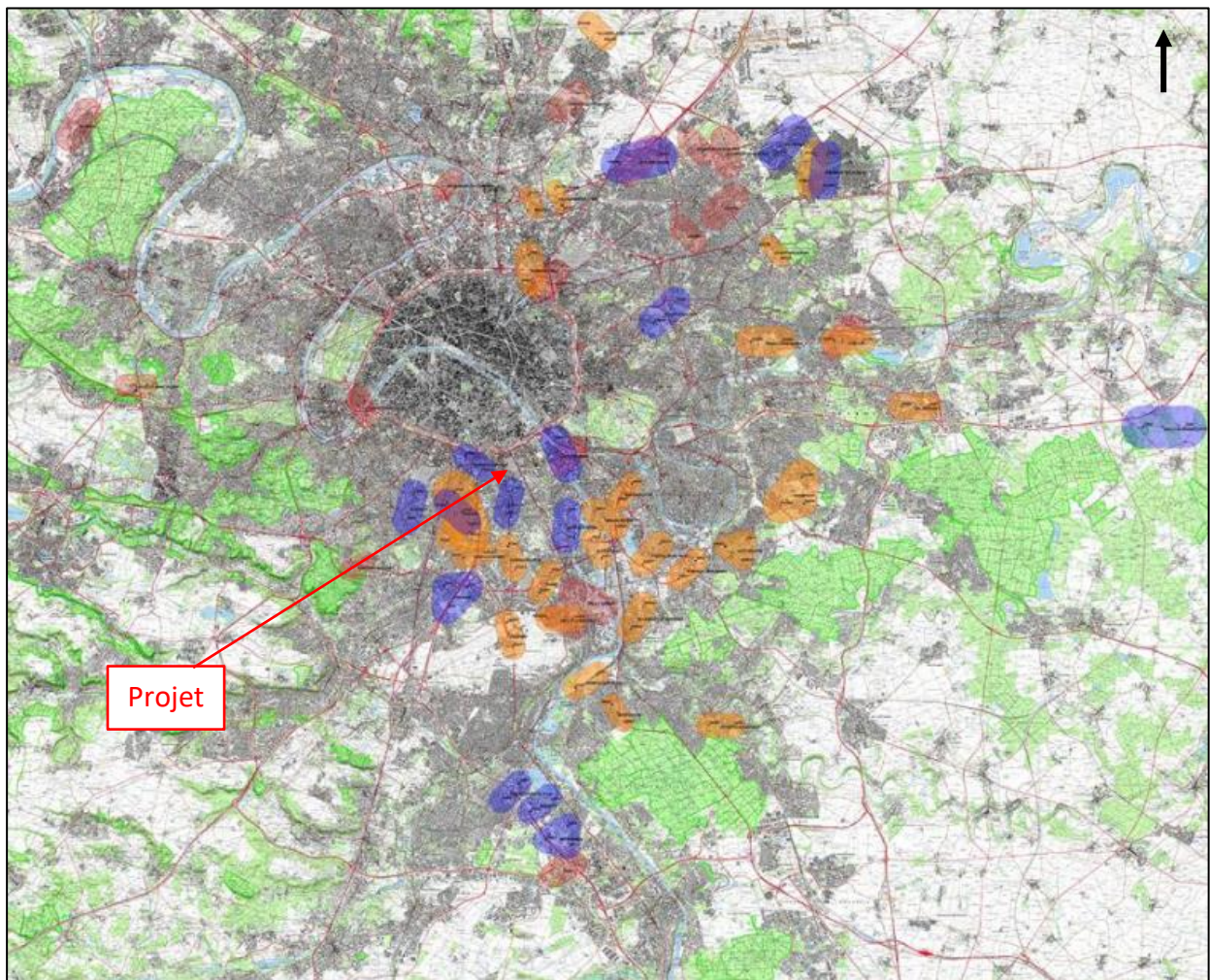


Figure 3 – Doublets géothermiques au Dogger en Île-de-France (source : BRGM)

Localisation

Les têtes de puits du futur doublet du Kremlin-Bicêtre seront implantées sur le terrain Lech Walesa, au sud-est de la commune (cf. Figure 4). Un bâtiment intégrant la centrale géothermique sera également construit à proximité du site.

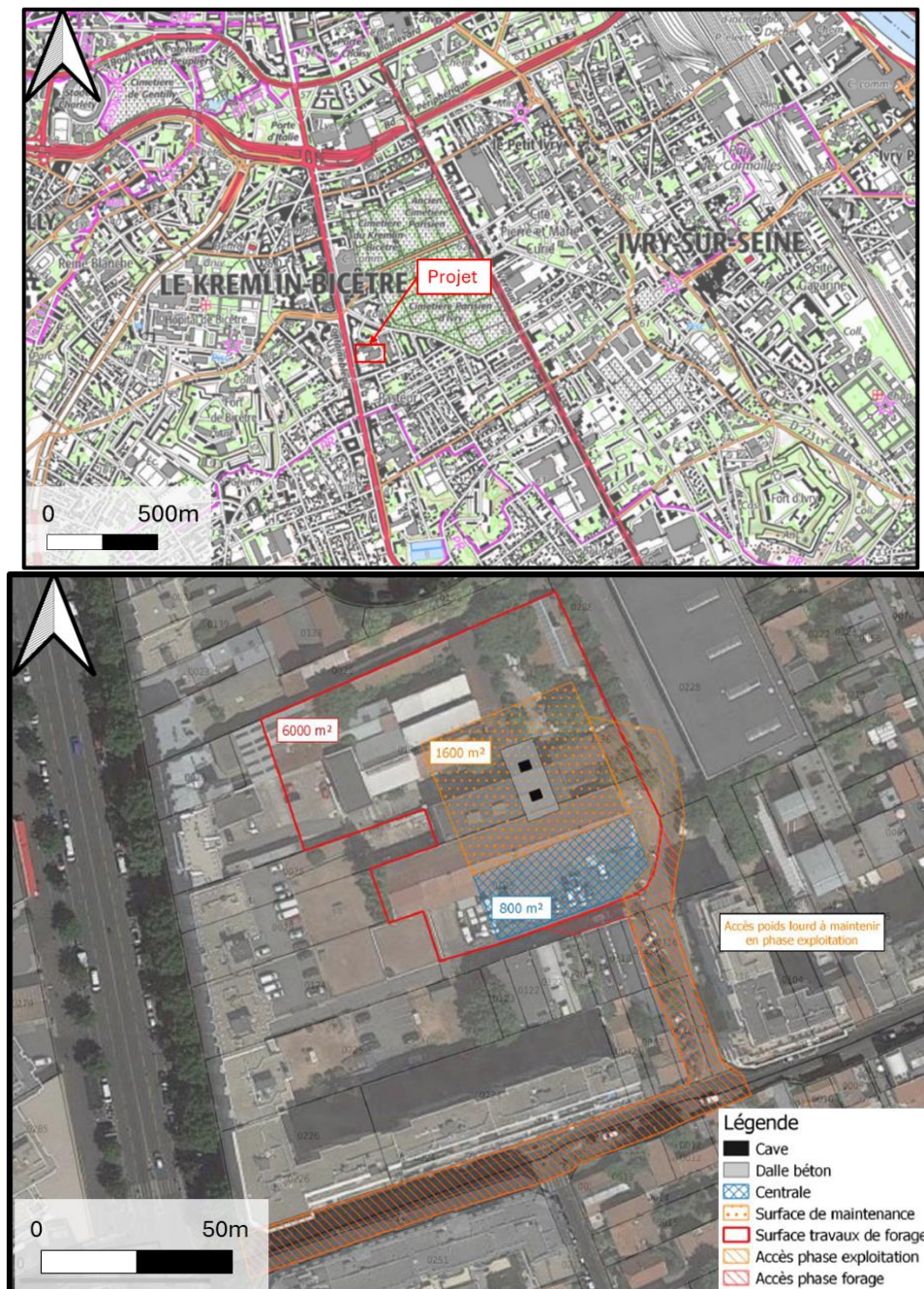


Figure 4 – Zone d'implantation du futur doublet du Kremlin-Bicêtre (source : Géoportail)

La demande de permis comprend une demande d'autorisation de recherche et une demande d'ouverture de travaux minier à laquelle est associée un projet de permis d'exploitation (gélule jaune) représentée sur la Figure 5.

Le projet s'insère dans un secteur où de nombreux doublets sont déjà présents, qu'ils soient en phase d'exploitation, en projet ou à l'arrêt. Ainsi la géologie et les propriétés physico-chimiques du sous-sol sont bien connues.

A proximité du futur permis du Kremlin-Bicêtre, on retrouve les permis de Arcueil-Gentilly, Villejuif, Ivry-sur-Seine, Maisons-Alfort, Chevilly-Larue, Cachan, l'Haÿ-les-Roses qui sont en activité et ceux de Malakoff, Vitry-sur-Seine et Alfortville qui sont en projet. Deux scénarios de permis d'exploitation ont été envisagés pour le projet : un permis d'exploitation conventionnel, et un permis d'exploitation multidrains. Le permis d'exploitation envisagé dans le cadre du projet du Kremlin-Bicêtre a été pensé de manière à ce que son impact soit le plus faible possible.

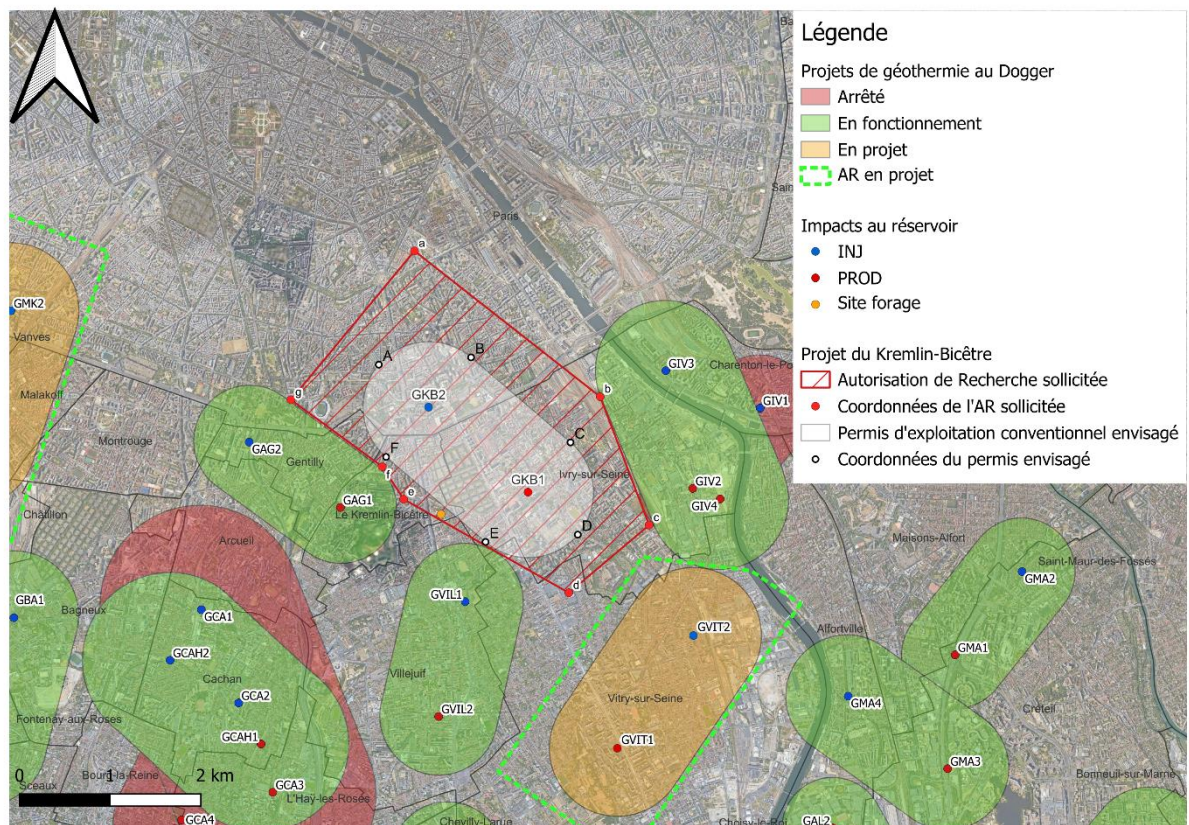


Figure 5 – Autorisation de recherche sollicitée et permis d'exploitation conventionnel envisagé pour le projet du Kremlin-Bicêtre

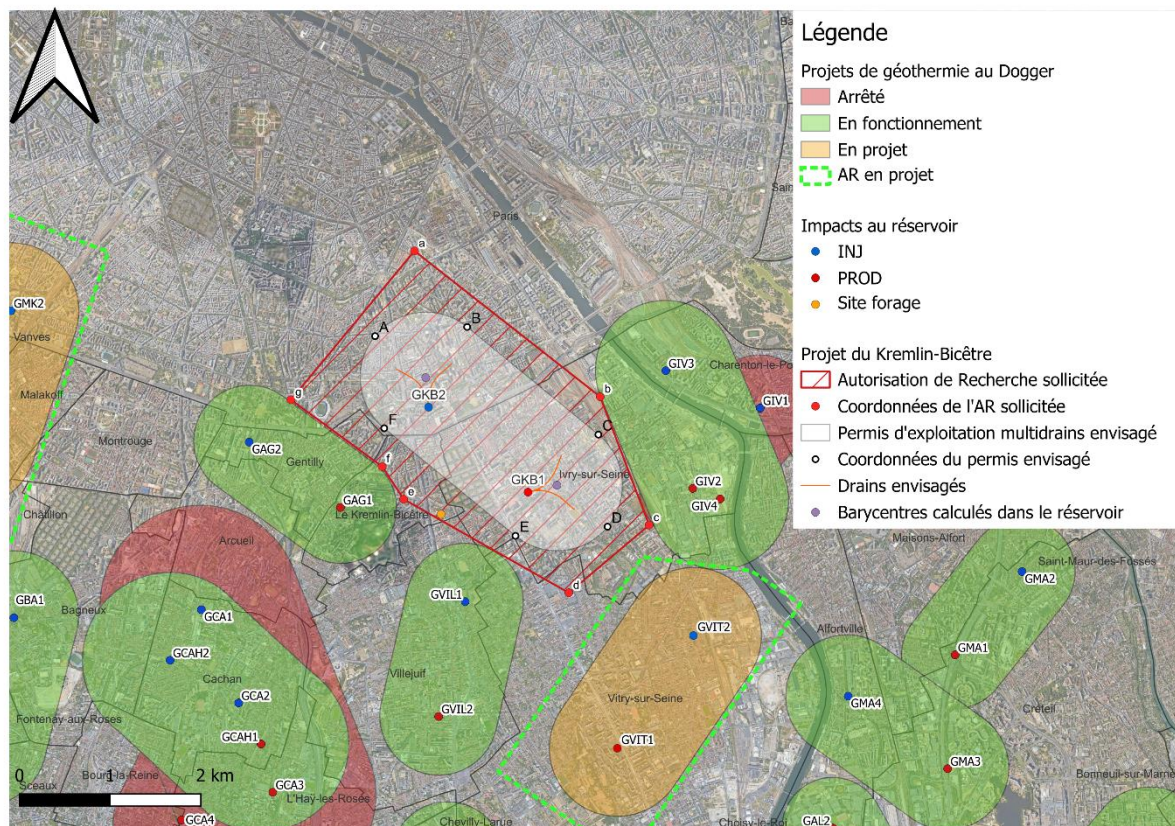


Figure 6 – Autorisation de recherche sollicitée et permis d'exploitation multidrains envisagé pour le projet du Kremlin-Bicêtre

Les communes concernées par la demande de permis du Kremlin-Bicêtre sont les suivantes :

- Le Kremlin-Bicêtre,
- Paris,
- Gentilly,
- Villejuif,
- Ivry-sur-Seine,
- Vitry-sur-Seine.

Evaluation des besoins

La première étape de recherche d'EnR&R a consisté à recenser les réseaux de chaleur situés à proximité du périmètre du schéma directeur. Les réseaux les plus proches établis sur des communes limitrophes, sont :

- Réseau de chaleur d'Arcueil et de Gentilly ;
- Réseau de chaleur et de la Ville de Paris ;
- Réseaux de chaleur d'Ivry-sur-Seine ;
- Réseau de chaleur des villes de Villejuif, Chevilly-Larue et L'Hay-les-Roses.

De manière cartographique, la Figure 7 affiche les réseaux de chaleur recensés à proximité.

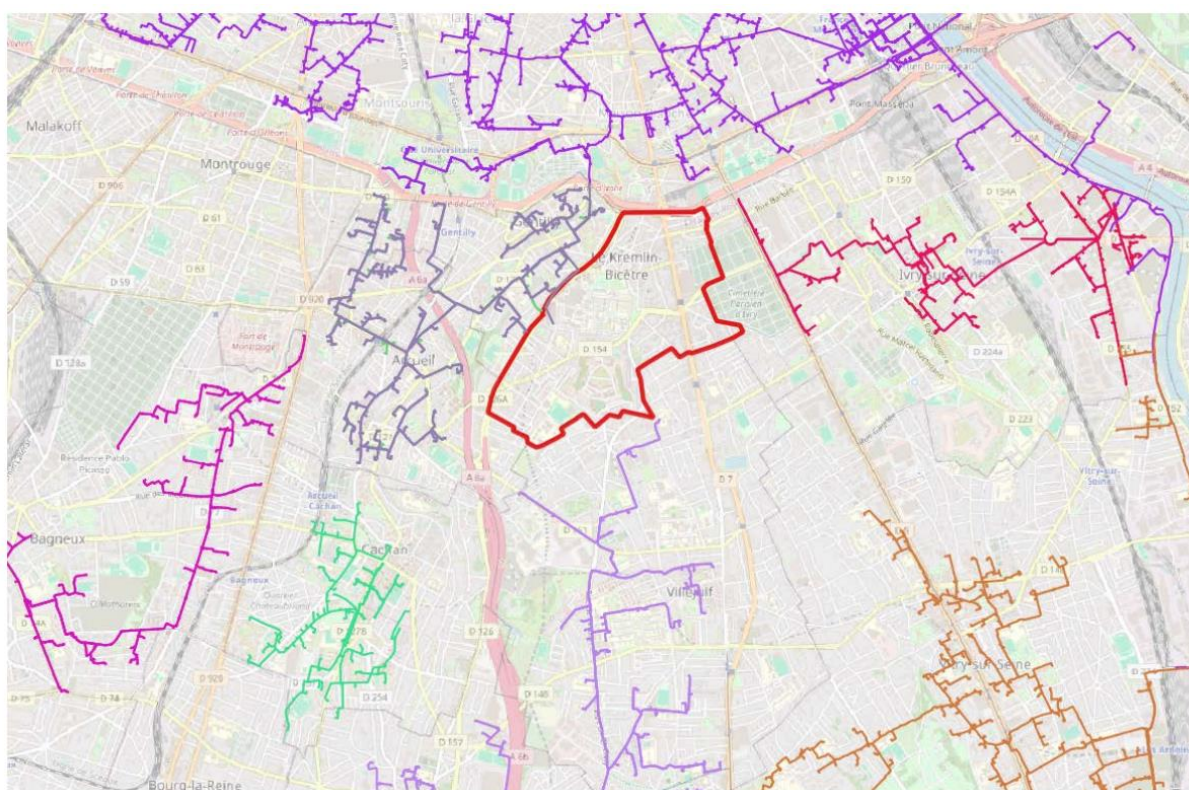


Figure 7 – Plan de situation des réseaux de chaleur à proximité (Source : France Chaleur Urbaine)

L'import de chaleur depuis un des trois réseaux limitrophes a été écarté. En effet :

- Les moyens de production EnR&R mis en place ne permettent pas de livrer des volumes de chaleur au-delà des besoins qu'ils desservent actuellement :
 - Le réseau de chaleur de Paris ne dispose pas actuellement de productions de chaleur renouvelable suffisantes et est alimenté en vapeur, rendant difficile l'échange de chaleur.
 - Les autres réseaux voisins sont aujourd'hui limités dans leurs développements respectifs par le dimensionnement de leur ressource EnR&R.
- Les discontinuités physiques et géographiques sont également nombreuses entre les différents réseaux (périphérique parisien, A6, Tram T9).

Toutefois, le cas où le réseau de chaleur du Kremlin-Bicêtre aurait la capacité d'exporter un surplus de chaleur renouvelable vers les réseaux a été étudié, car des réseaux pourraient manquer d'EnR&R ou certaines zones des périmètres de concessions voisines sont difficilement atteignables.

Le recensement patrimonial s'est concentré sur le périmètre complet de la commune du Kremlin-Bicêtre, et a par la suite été étendu sur les quartiers limitrophes.

Pour déterminer les consommations actuelles du patrimoine existant, la procédure suivante a été mise en œuvre :

- Exploitation des données en accès libre (données locales énergie de GRDF, base de données CSTB, informations presse / satellite / photos, etc.),
- Contact avec le maître d'ouvrage ou son assistant en vue d'obtenir des renseignements sur les installations thermiques, consommations et facture énergétique,
- Sans réponse complète du maître d'ouvrage malgré des relances entre juin et novembre 2022, des estimations ont dû être réalisées (après vérification de la présence d'une chaufferie collective). Les hypothèses de consommations prises en compte pour les estimations sont les suivantes :

	Enseignement	Equipement public	Logement ancien	Logement neuf	Tertiaire
Chauffage (kWh _{ut} /m²)	80	70	110	35	80
Chauffage (kWh _{ut} /m²)	10	10	46	46	7
Chauffage (kW/lgt)			7	2,5	
ECS (kW/lgt)			3	3	

Tableau 1– Hypothèses prises pour les estimations

Pour les bâtiments anciens :

- Les diminutions de consommations de chauffage ont été prises en compte en fonction des informations fournies à ce sujet par les maîtres d'ouvrage,
- En l'absence d'informations, une réduction de consommations a été appliquée à horizon 2030 selon les hypothèses suivantes :

	Enseignement	Equipement public	Logement ancien	Logement neuf	Tertiaire
Diminution consommation chauffage	15%	15%	10%	0%	10%

Tableau 2– Hypothèses des baisses de consommations

Le plan suivant permet de situer les différents quartiers du Kremlin-Bicêtre qui seront repris dans la suite du rapport :



Figure 8 – Espaces urbains et secteurs d'équipements du Kremlin-Bicêtre

La ville du Kremlin-Bicêtre est essentiellement composée d'immeubles anciens, de logements et de commerces. La ville est dense avec peu de zones pavillonnaires. Trois zones d'équipements se distinguent et occupent une partie importante du territoire, il s'agit de l'Hôpital Bicêtre au centre de

la ville, le Fort Bicêtre plus au Sud et enfin la zone scolaire au Sud en limite de bordure avec Villejuif. Sur ce territoire, des prospects ont été identifiés, publics et privés, en vue de caractériser leur mode de production de chauffage et d'ECS.

À partir de l'étude du potentiel EnR&R et des besoins de chaleur sur le territoire, deux scénarios ont été étudiés :

- Scénario 1 : La création d'un doublet géothermal au Dogger pour desservir le réseau de chaleur à créer au Kremlin-Bicêtre, ainsi qu'un export de chaleur vers les réseaux voisins.
L'export nécessaire pour l'étude a été dimensionné en cohérence avec les besoins de la ville et les différents potentiels hors périmètre. Besoin total de 85 811 MWh/an à horizon 2030
 - Linéaire de réseau : 9 690 mètres linéaires (en mètres de tranchée) uniquement pour le Kremlin-Bicêtre
 - Besoins sur le Kremlin-Bicêtre : 47 993 MWh/an à horizon 2030
 - Export vers les villes voisines : 37 818 MWh/an à horizon 2030
 - Scénario 2 : La création d'un doublet géothermal au Dogger pour desservir le réseau de chaleur à créer au Kremlin-Bicêtre et sur les villes voisines, à savoir ECOTONE à Arcueil, Villejuif, Ivry-sur-Seine et Vitry-sur-Seine. Besoin total de 84 505 MWh/an à horizon 2030
 - Linéaire de réseau : 14 273 mètres linéaires (en mètres de tranchée) sur les 5 villes
 - Besoins sur le Kremlin-Bicêtre : 47 993 MWh/an à horizon 2030
 - Besoins sur ECOTONE : 6 318 MWh/an à horizon 2030
 - Besoins sur les trois villes au Sud : 30 194 MWh/an à horizon 2030
- Le scénario 0, dont le périmètre était exclusivement le territoire du Kremlin-Bicêtre, et n'incluait pas d'export de chaleur, a été écarté dans le reste de l'étude du fait de sa faible pertinence économique et énergétique.

De manière à relier les abonnés au réseau de chaleur, les tracés projetés du réseau sont présentés ci-dessous pour les deux scénarios de développement.

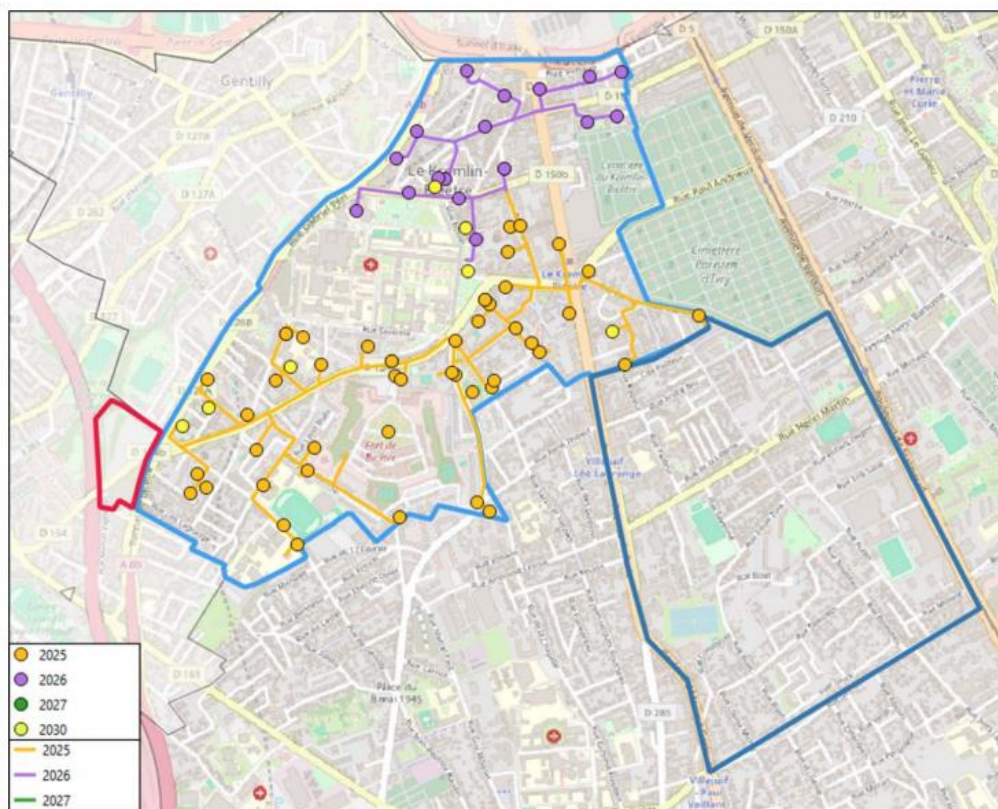


Figure 9 – Tracé prévisionnel du réseau de chaleur, scénario 1 avec export non défini

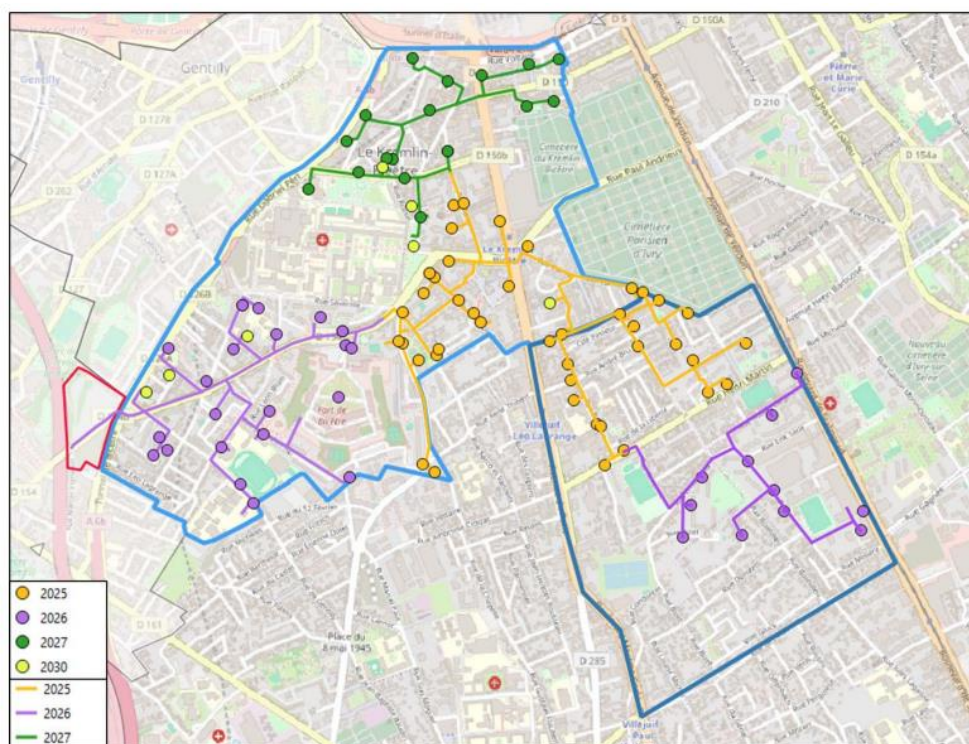


Figure 10 – Tracé prévisionnel du réseau de chaleur, scénario 2 avec export défini

Afin de réaliser les simulations énergétiques de ce scénario, voici les hypothèses de dimensionnement qui ont permis d'atteindre le taux EnR&R cible en 2035 :

- Température de mélange (sortie échangeur géothermal) : 62°C
- Température de réinjection : 28°C (entrée échangeur géothermal)
- Débit géothermal total : 300 m³/h
- Puissance PAC chaud : 9 MW
- COP moyen annuel des pompes à chaleur : 4,8
- Puissance maxi demandée : environ 34 MW par le réseau

Les figures ci-dessous rendent compte du volume alimentant le réseau pour chaque énergie.

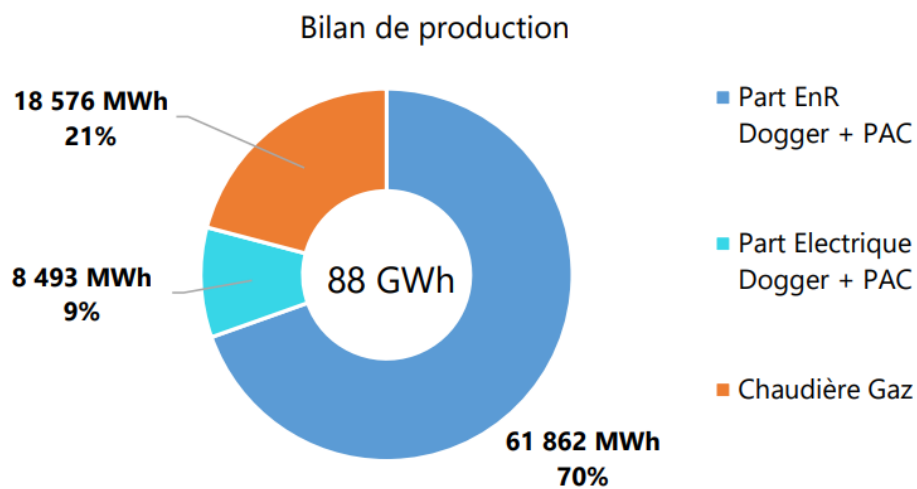


Figure 11 – Bilan de production pour le scénario 1 : Kremlin-Bicêtre et export prévisionnel

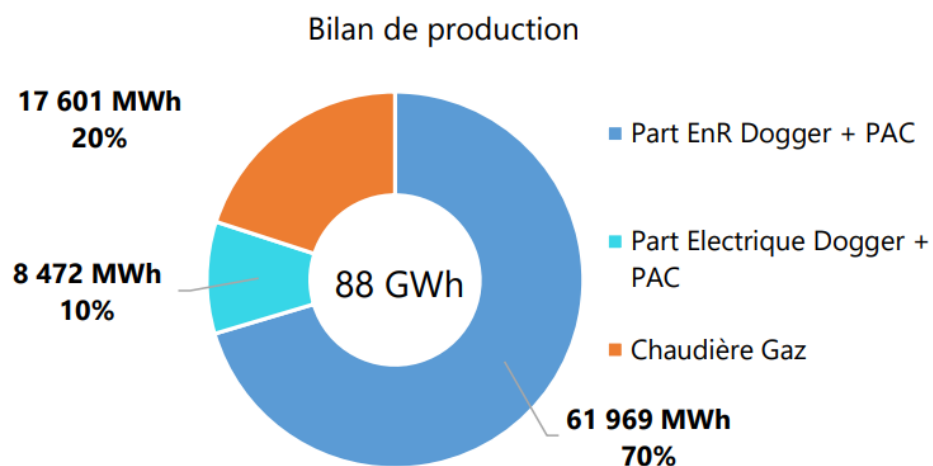


Figure 12 – Bilan de production pour le scénario 2 : projet intercommunal

Travaux de forage projetés



Figure 13 – Exemples d’ateliers de forages géothermiques

Les travaux seront réalisés avec un appareil de forage de type pétrolier ayant la capacité de travailler à des profondeurs de l’ordre de 2000 mètres dans un contexte urbain (cf. Figure 13).

Les coupes techniques des futurs ouvrages ont été construites en tenant compte des débits d’exploitation envisagés (qui conditionnent le diamètre des tubages), des différents aquifères à isoler (Albien et Néocomien, sensibles au regard des captages d’eau potable), et de manière à espacer suffisamment les points d’impact des deux forages au niveau du réservoir (afin de limiter l’impact du recyclage thermique : le fait de pomper de l’eau déjà refroidie par l’exploitation géothermique).

Programmation des phases de travaux		Description succincte
Travaux de terrassement		Travaux de surface et autour de la future plateforme en fonction des charges définies par les études géotechniques
Equipements de la plateforme de forage		- Bassin de rétention - Caves - Réseau de caniveaux - Ouvrages divers (déshuileur, décanteur)
Alimentation du chantier en eau		Raccordement au réseau existant
Forages et opération annexes	Installation de l'appareil	Forages et opérations annexes
	Activité forage	Forage du doublet au Dogger (un injecteur et un producteur)
	Equipement des forages	Installation des tubages, cimentations
	Tests de production	A l'issue des forages pour déterminer la capacité des puits
	Diagraphie	A l'issue des forages et après chaque pose de tubage.
	Replis de l'appareil de forage	Processus similaire à la venue de l'appareil
Travaux de surface	Construction de la centrale	Travaux de surface
	Raccordement à la centrale	Branchement du lot sous-sol au lot surface – connexion entre les têtes de puits et l'échangeur de chaleur
	Mise en place du réseau de chaleur	Travaux de génie civil au sein de la commune pour raccorder les prospects à la centrale
Mise en production		Démarrage de l'installation

Tableau 3 – Résumé des travaux dans leur ensemble

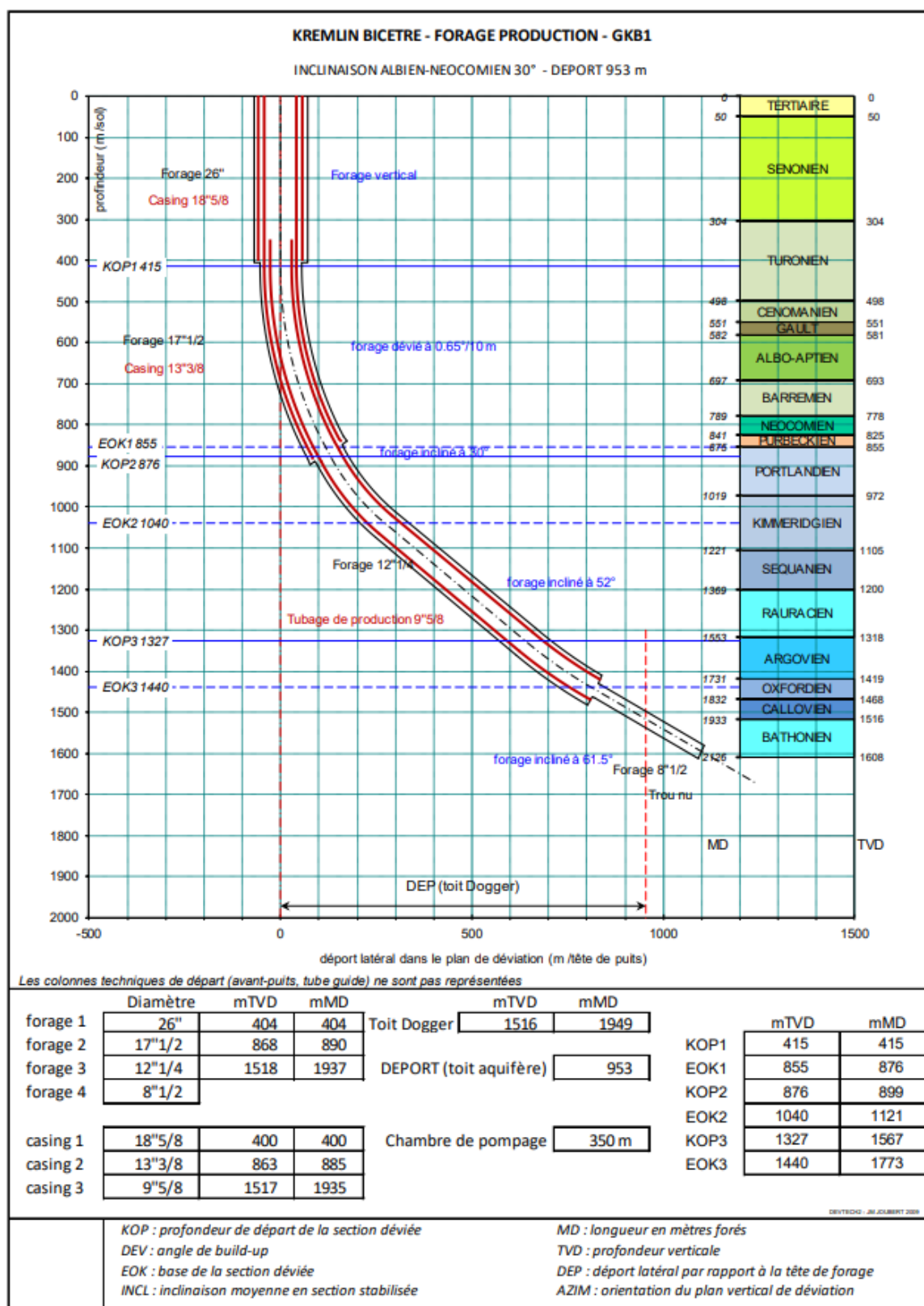


Figure 14 – Coupe prévisionnelle d'un des ouvrages (à titre indicatif)

Une modélisation hydrodynamique et thermique du réservoir du Dogger a été réalisée afin de simuler l'impact de la mise en service du nouveau doublet sur les niveaux d'eau et l'évolution des températures de l'aquifère sur les doublets avoisinants. Les principales caractéristiques qui ont été prises en compte dans le dimensionnement du projet géothermique au Dogger pour le projet sont les suivantes :

- Débit d'exploitation moyen annuel : 218 m³/h,
- Débit d'exploitation maximal modélisé : 300 m³/h,
- Température du fluide réinjecté : 40°C.

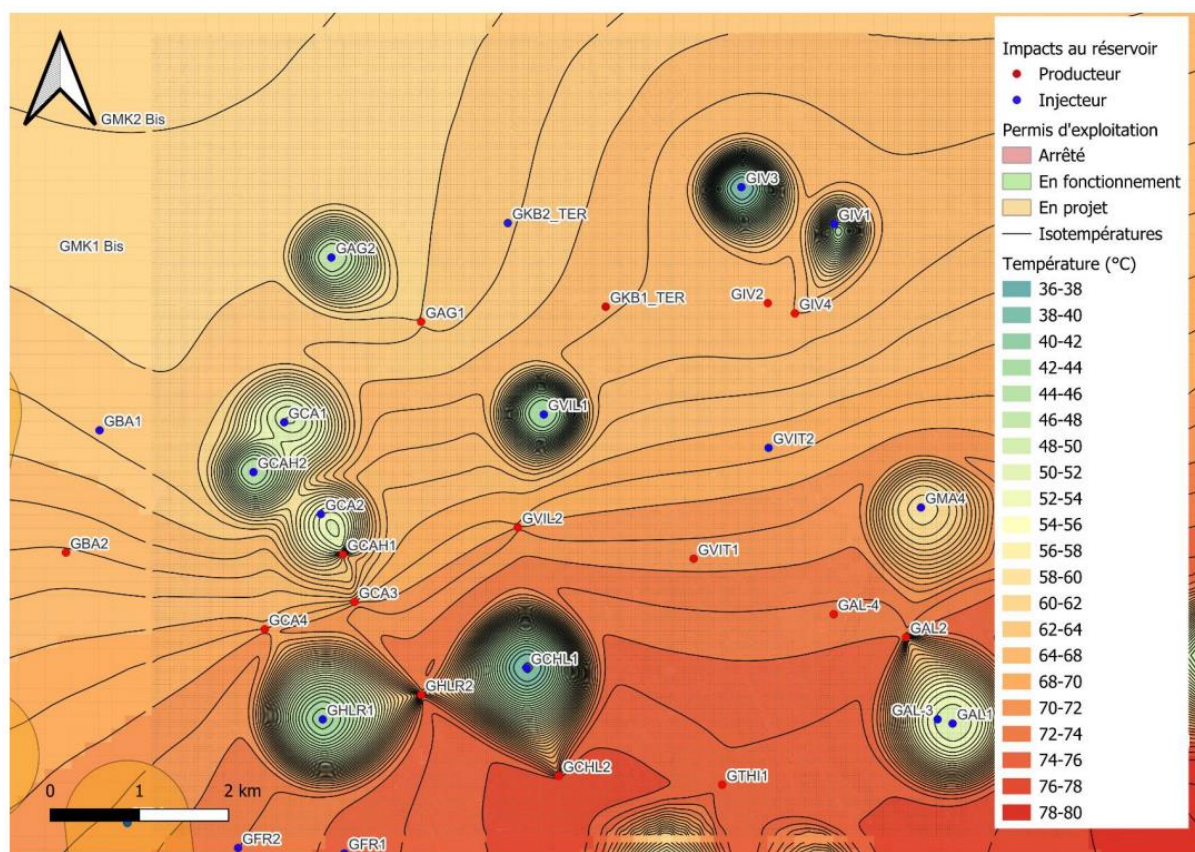


Figure 15 – Panaches de température simulées en 2025

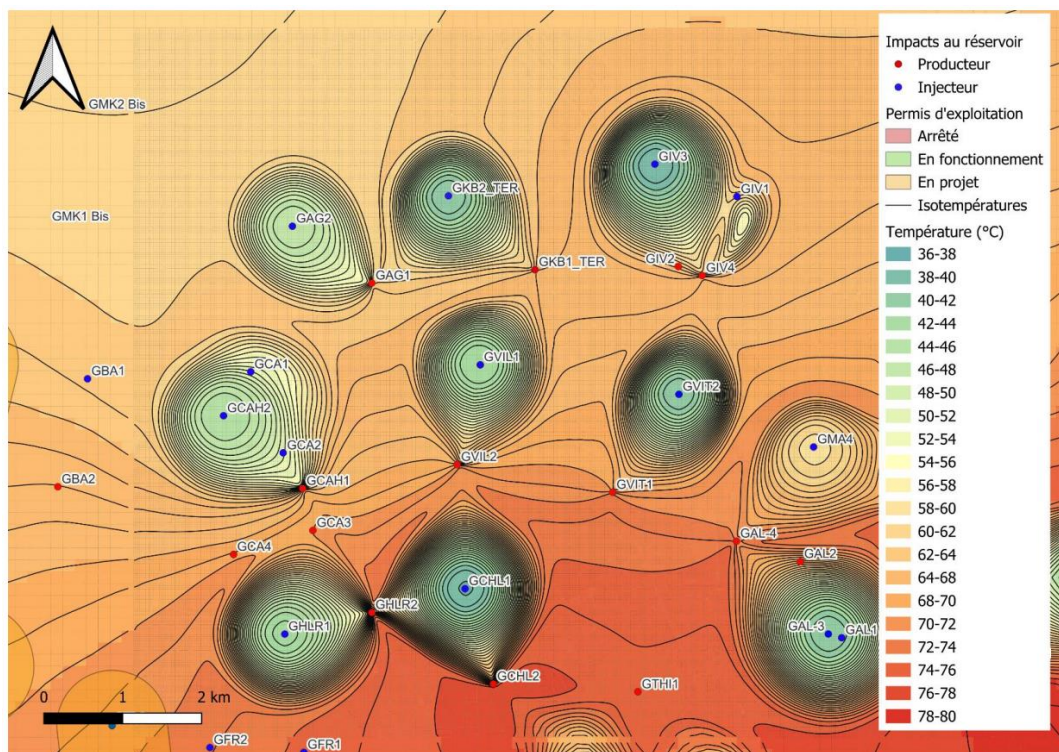


Figure 16 – Panaches de température simulés en 2056

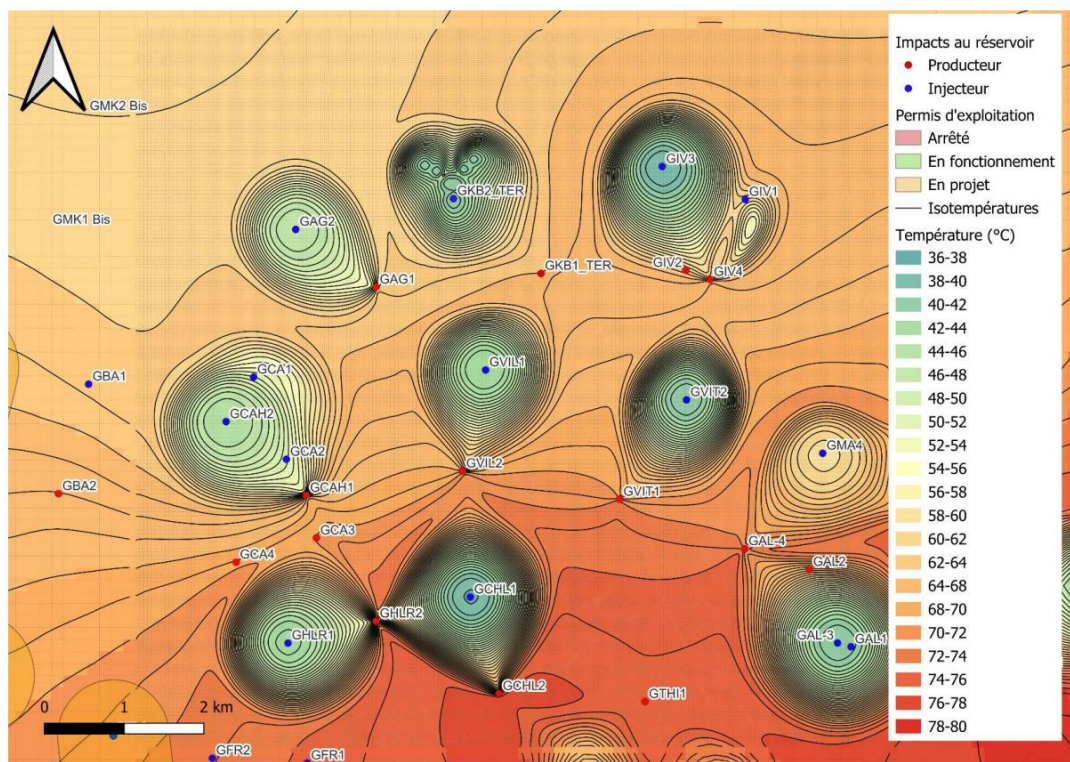


Figure 17 – Panaches de température simulés en 2056 pour le cas multi-drains

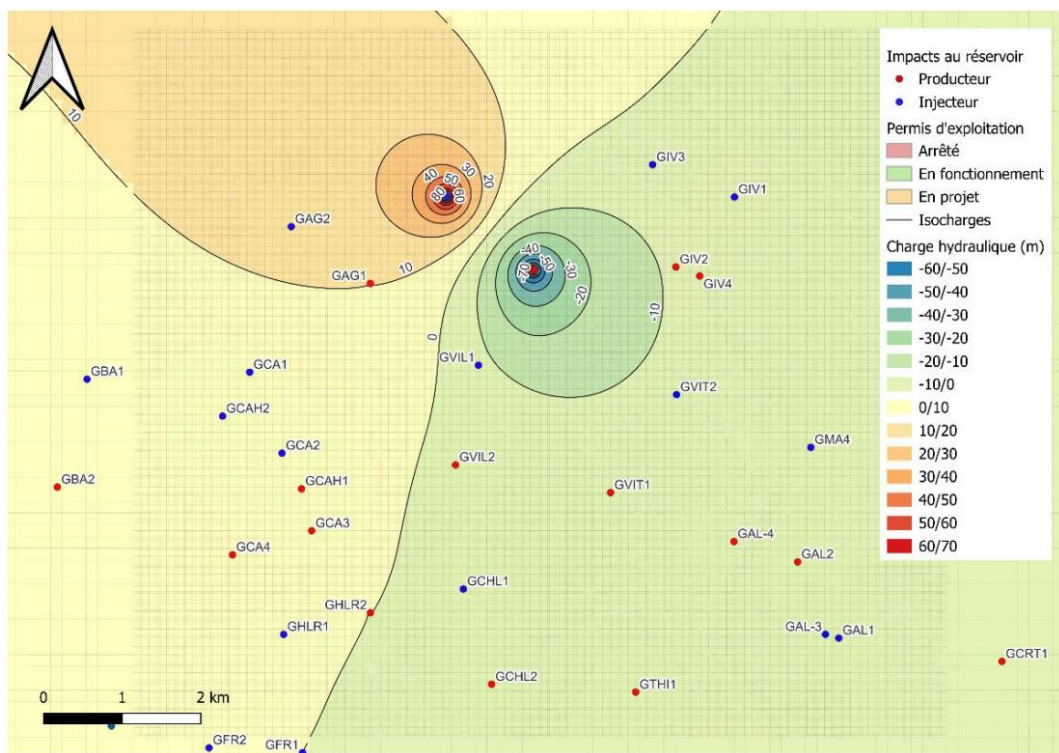


Figure 18 – Impact hydraulique sur les doublets existants après 30 ans d'exploitation et 6 mois à débit maximum du nouveau doublet conventionnel

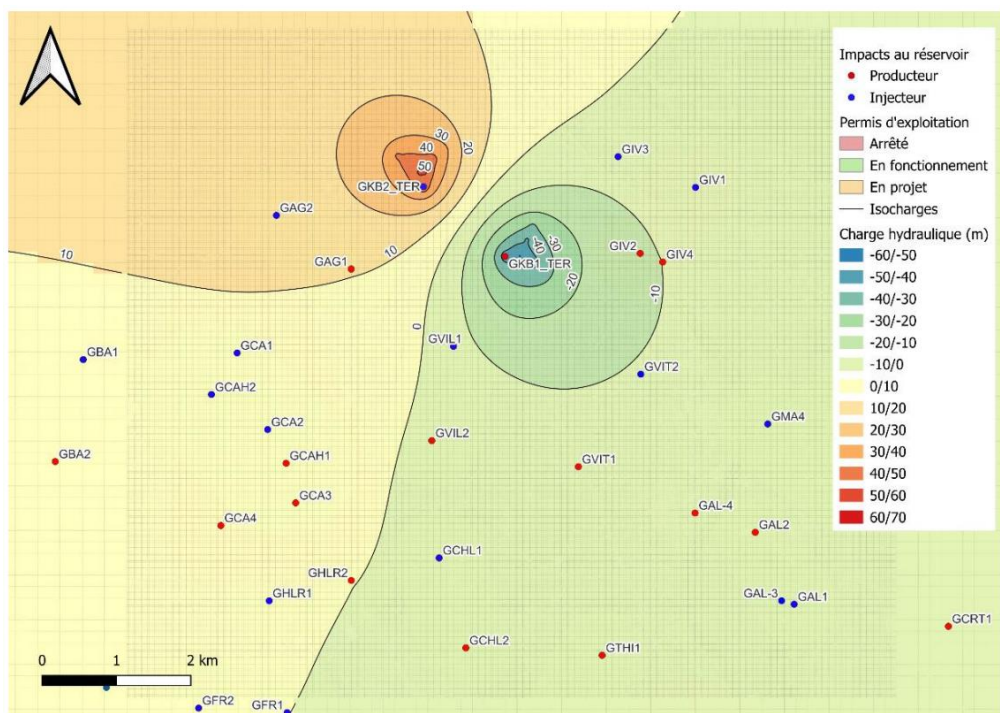


Figure 19 – Impact hydraulique sur les doublets existants après 30 ans d'exploitation et 6 mois à débit maximum du nouveau doublet multi-drains

Le modèle numérique élaboré à partir du modèle hydrogéologique conceptuel permet de représenter le comportement du futur doublet du Kremlin-Bicêtre.

Sur ces bases, les simulations thermiques prévisionnelles réalisées sur 30 ans montrent que le puits injecteur GKB2 aura un impact thermique acceptable pour le puits producteur GKB1 pour les scénarios conventionnel et multi-drains.

Les simulations réalisées sur 30 ans montrent que le nouveau projet aura un impact hydraulique acceptable sur les projets voisins excepté pour l'injecteur d'Arcueil-Gentilly (GAG2). Le SIPPEREC confirme que l'injecteur d'Arcueil-Gentilly pourra accepter cet impact hydraulique supérieur de 0,4 bar à celui communément admis : le courrier d'accord d'ArGéo est disponible en annexe 1.

Calendrier des travaux

Intitulé du projet	Projet de géothermie du Kremlin-Bicêtre – Réalisation d’un doublet géothermique au Dogger
Localisation	Terrain Lech Walesa, Rue Lech Walesa 94270 Le Kremlin-Bicêtre
Description	Réalisation de deux forages (un injecteur et un producteur) pour alimenter le réseau de chaleur sur la ville du Kremlin-Bicêtre (94)
Maître d’ouvrage	SIPPEREC
Classification	Permis minier : gîte géothermique
Aquifère concerné	Calcaires du Dogger
Profondeur de forage	1949 m MD pour le producteur et 1940 m MD pour l’injecteur (à ces longueurs s’ajoutent éventuellement les drains)
Production	12,2 MW
Durée prévisionnelle des travaux de forage	140 jours d’opération forage
Date de début des travaux	S2 2027
Durée prévisionnelle des travaux sur site	Environ 1 an
Durée prévisionnelle des travaux du réseau de chaleur et de la centrale	Environ 1 an
Date prévisionnelle de mise en service	2029

Tableau 4 – Calendrier des travaux

Evaluation des impacts du projet

La demande d'ouverture de travaux minier est accompagnée d'une étude d'impact environnemental du projet qui concerne les phases de travaux et d'exploitation.

Dans un premier temps, l'analyse de l'état initial du site et de son environnement a permis de dégager les principaux enjeux environnementaux. La synthèse de ces enjeux est décrite dans le Tableau 5.

 Enjeu nul ou négligeable

 Enjeu faible

 Enjeu modéré

 Enjeu fort

Thème	Constats	Intensité de l'enjeu
Milieu physique		
Climat	Le site d'étude n'est pas situé dans un environnement de conditions climatiques extrêmes.	Faible
Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact. Mesures d'évitements : Contrôle réglementaire des pompes à chaleur, recours à des fluides frigorigènes spécifiques, interdiction de brûler des déchets sur chantier, ... Mesures de réduction : Vitesse de circulation limitée sur le chantier, raccordement électrique potentiel de l'appareil de forage, sensibilisation du personnel aux écogestes du quotidien, ... Mesures de compensation : Sans objet		
Qualité de l'air	Le site d'étude est situé dans un environnement où la qualité de l'air est moyenne.	Faible
Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact. Mesures d'évitements : Sans objet Mesures de réduction : Vitesse réduite des véhicules, arrosage au besoin des zones de terrassement pour limiter l'envol des poussières, entretiens réguliers des engins, injection d'eau de javel pour empêcher la diffusion d'H ₂ S pendant les phases de test en forage, contrat anti-éruption en phase exploitation, utilisation de capteurs H ₂ S, ... Mesures de compensation : Sans objet		
Sol et sous-sol	La proximité avec un site BASOL est un facteur potentiellement important de pollution des sols. Deux sites BASIAS sont référencés au droit du projet et plusieurs sites sont situés à moins de 100 m du projet. Des études de pollution sont en cours afin de vérifier la présence de pollution au droit du projet.	Fort
Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact. Mesures d'évitements : Mise en place de bacs de rétention adaptés, de surfaces bâchées bétonnées pour le stockage de produits dangereux, les zones d'activités seront étanches, emploi d'huiles végétales et non polluantes, sensibilisation du personnel à la préservation de l'environnement, mise en place d'un séparateur à hydrocarbure sur la plateforme de forage, mise en place des réseaux de chaleur selon les règles de l'art, diagnostic amiante en amont de la phase travaux, vérifications régulières de l'étanchéité des réseaux de collecte des eaux usées et pluviales, ...		

Mesures de réduction : Réalisation d'un plan de gestion des terres impactées, tri et réutilisation sur site d'une partie des terres en accord avec le projet d'aménagement, mise en place d'une couche de terre saine d'une épaisseur de 40 cm au droit des espaces verts ou mise en place d'une couverture afin d'éviter tout contact avec les remblais impactés, évacuation des terres en filières agréées si impossible de les réutiliser sur site, nettoyage des engins de chantier et des voiries souillées, réutilisation d'une partie des terres excavées lors de la réalisation des tranchées, mise en œuvre d'une procédure d'urgence « pollution ».

Mesures de compensation : Sans objet

Eaux souterraines	Absence de captage d'eau potable communal.	Faible
-------------------	--	--------

Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.

Mesures d'évitements : Mesures similaires aux sols et sous-sol, mise en place d'une plateforme en béton empêchant l'infiltration dans le sol, pas d'utilisation de « boue à huile ».

Mesures de réduction : Architectures des puits normées, isolement des aquifères par cimentation des annulaires, contrôle périodique des tubages par diagraphie, mise en place d'une double protection au droit de l'aquifère de l'Albien, utilisation de boues de forage spécifiques pour éviter les pertes et contaminations, suivi réglementaire pendant toute la durée de vie des ouvrages.

Mesures de compensation : Sans objet

Eaux superficielles	Aucun cours d'eau ne traverse la ville.	Faible
---------------------	---	--------

Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.

Mesures d'évitements : Aucune boue à l'huile ne sera utilisée en phase forage, les zones d'activités du site seront étanches (goudronnées ou bétonnées), stockage des matières polluantes sur des rétentions adaptées, séparateur d'hydrocarbure et rétention au niveau du point de collecte des eaux de ruissellement avant rejet dans le réseau d'eau pluviale, refroidissement à 30°C des eaux avant rejet dans le réseau public d'assainissement, ...

Mesures de réduction : Architectures des puits normées, utilisation de boues de forage spécifiques pour éviter les pertes et contaminations, suivi réglementaire pendant toute la durée de vie des ouvrages, contrat anti-éruption en phase exploitation, vérification régulière de l'étanchéité des réseaux, ...

Mesures de compensation : Sans objet

Paysage	Site visible depuis les routes d'accès et les infrastructures autour	Modéré
---------	--	--------

Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.

Mesures d'évitements : Les têtes de puits et les réseaux de chaleur ne seront pas visibles en phase exploitation, la centrale sera construite sur un site privé non accessible depuis la rue.

Mesures de réduction : Eclairages de nuit dirigés vers le chantier, zones de stockage mise en place à l'intérieur du chantier, maintien de l'état de propreté du chantier, nettoyage régulier des voiries, la volumétrie du bâtiment sera la plus compacte possible, ...

Mesures de compensation : Réhabilitation du site après la phase chantier.

Risques naturels	Le site d'étude est concerné par un risque modéré du retrait-gonflement des sols argileux. Zone de sismicité 1 (très faible). la commune du Kremlin-Bicêtre est soumise à un PPR Risque Inondation prescrit ; La majorité du territoire est cependant exposée à une « sensibilité très faible » : le projet est localisé en zone de sensibilité faible La commune est soumise à un PPR risque Mouvement de terrain prescrit (cavités souterraines)	Modéré
------------------	---	--------

Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact.

Mesures d'évitements : Réalisation de sondages géotechniques de reconnaissance, cimentation des tubages.

Mesures de réduction : Constructions réalisées en respectant les « bonnes pratiques ».

Mesures de compensation : Sans objet

Milieu naturel

Espaces naturels et continuités écologiques	Aucun site Natura 2000, PNR, RNN, RNR, APPB, ZICO n'est présent dans un rayon de 5 km autour du projet. Le site ne se situe pas dans une zone humide. Aucune ZNIEFF n'est située dans un rayon de 1 km autour du site d'étude. Les ZNIEFF les plus proches sont situées à environ 3,5km (Type II) et 3km (Type I et II) La commune du Kremlin-Bicêtre ne présente pas d'ENS Des EBC ont été identifiés sur la commune : ils sont situés à 500 et 600m environ du site du projet	Modéré
Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact. Mesures d'évitements : Le choix définitif du tracé du réseau de chaleur sera fondé sur la volonté d'éviter les zones à enjeux, optimisation de l'emprise de chantier afin de réduire l'emprise de la zone de travaux, réduction de la plateforme à son minimum au cours de la phase d'exploitation. Une attention particulière sera portée sur les rejets, le contrôle d'éventuelles fuites et la gestion des déchets Mesures de réduction : Sans objet Mesures de compensation : Réhabilitation du site après forage.		
Faune, Habitats et flores	Plusieurs espèces protégées au niveau de la commune. La commune du Kremlin-Bicêtre ne détient sur son territoire, ni réservoir de biodiversité, ni corridor écologique.	Modéré
Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact. Mesures d'évitements : Le choix définitif du tracé du réseau de chaleur sera fondé sur la volonté d'éviter les zones à enjeux, optimisation de l'emprise de chantier afin de réduire l'emprise de la zone de travaux, réduction de la plateforme à son minimum au cours de la phase d'exploitation. Une attention particulière sera portée sur les rejets, le contrôle d'éventuelles fuites et la gestion des déchets Mesures de réduction : Sans objet Mesures de compensation : Réhabilitation du site après forage.		
Milieu humain		
Caractéristiques socio-économiques	Des habitations sont localisées à proximité immédiates du site du projet. Des établissements sensibles sont présents dans un rayon d'1 km (école maternelle, crèche, groupe scolaire, espace culturel). Le site est situé dans une zone urbanisée.	Fort
Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact. Mesures d'évitements : Installations des équipements à l'intérieur du bâtiment de géothermie et respect des dispositions constructives en matière d'acoustiques, travaux du bâtiment intégrant la centrale réalisés sur des horaires essentiellement diurnes, ... Mesures de réduction : Limitation des circulations de véhicules et définition des sens de circulation sur le chantier pour limiter l'usage des avertisseurs de recul, éloignement dans la mesure du possible des équipements et activités bruyantes des riverains, mise en place de bâches acoustiques proche des équipements bruyants, ... Mesures de compensation : Sans objet		
Réseaux et urbanisme	Pas de servitudes d'utilités publiques sur la zone du projet. La commune est concernée par des servitudes relatives à la protection des monuments historiques, aux transmissions radioélectriques, au tracé des canalisations électriques, au plan de prévention des risques naturels, et par des servitudes aéronautiques	Faible
Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact. Mesures d'évitements : Le choix définitif du tracé du futur réseau de chaleur et de ses sous-stations sera fondé sur la volonté d'éviter les zones à enjeux. Mesures de réduction : Sans objet Mesures de compensation : Sans objet		

Patrimoine culturel et architectural	Quelques sites classés, inscrits, entités remarquables et zones à potentialité archéologique se trouvent sur la commune.	Faible
Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact. Mesures d'évitements : Le choix définitif du tracé du futur réseau de chaleur et de ses sous-stations sera fondé sur la volonté d'éviter les zones à enjeux. Mesures de réduction : Sans objet Mesures de compensation : Sans objet		
Transport et circulation	Trafic assez dense des voies de circulation sur la commune (D154, D7, D150, D126 et A6B) mais faible pour accéder au site.	Faible
Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact. Mesures d'évitements : Le tracé définitif du réseau de chaleur évitera le plus possible les principaux axes de communication des communes concernées, aménagement du raccordement du site à la route de sorte que les conducteurs d'engins puissent manœuvrer sans constituer d'obstacles ou de risques vis-à-vis de la circulation. Mesures de réduction : Un schéma de circulation des engins sera établi, les projecteurs utilisés de nuit seront orientés de manière à supprimer tout risque d'éblouissement, les engins seront équipés d'éclairage suffisant pour assurer les conditions de sécurité lorsque la luminosité naturelle est insuffisante, mise en place de panneaux routiers de chantier informant les usagers de la route de la sortie d'engins de chantier, contrôle du stationnement des véhicules aux abords du chantier. Mesures de compensation : Sans objet		
Commodité du voisinage	L'indice Lden sur une journée au droit du site est faible. Ambiance sonore modérée à forte engendrées par le trafic automobile Pollution lumineuse importante. Projet situé sur un territoire couvert par le Plan de prévention du bruit dans l'environnement du département du Val-de-Marne (PPBE 2019-2023).	Fort
Mesures complètes décrites dans l'étude d'impact. Mesures d'évitements : Livraison de matériel uniquement en journée pendant le chantier, respect des dispositions constructives en matière d'acoustique, installation des équipements bruyants à l'intérieur du bâtiment en phase exploitation. Mesures de réduction : Recours privilégié au raccordement électrique de l'appareil de forage, capotage du treuil et des pompes, les tâches les plus bruyantes comme les cimentations ne seront pas réalisées de nuit, un point de monitoring sera installé sur le chantier pendant toute la phase travaux de forage, limitation des circulations de véhicules et définition des sens de circulation sur le chantier pour limiter l'usage des avertisseurs de recul, éloignement dans la mesure du possible des équipements et activités bruyantes des riverains, mise en place de panneaux avec bâches acoustiques, aménagement des horaires des tâches bruyantes. Mesures de compensation : Sans objet		

Tableau 5 – Synthèse des enjeux du projet principales mesures d'évitement, de réduction et de compensation qui seront mises en œuvre

L'impact sur le milieu environnant du doublet géothermique, des réseaux et de la centrale est peu important : le projet se situe au niveau d'un terrain occupé aujourd'hui par des bâtiments tertiaires voués à être démolis et destiné à être réaménagé en un îlot d'habitations occupé par des petits collectifs. La Ville du Kremlin-Bicêtre a donné son accord pour intégrer un projet de centrale EnR&R dans le projet. Le projet est en dehors :

- D'un parc naturel régional ou national,
- D'une réserve naturelle ou d'un arrêté de protection de biotope,
- De zone d'intérêt communautaire pour la protection des oiseaux (ZICO),
- De zone Natura 2000 (zones de protection spéciale et sites d'importance communautaire),

- De ZNIEFF 1 et 2 (zones d'intérêt écologique, floristique et faunistique),
- De tout périmètre de protection immédiat et rapproché de captages AEP,
- D'Espaces Naturels Sensibles et d'Espaces Boisés Classés.

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

- Pendant la phase forage, l'atelier de forage est installé sur une plateforme qui empêche toute infiltration dans le sol. La plateforme est construite avec un maillage de caniveaux (notamment autour de la foreuse) en légère pente canalisant les eaux de ruissellement du chantier vers un même point.
- Les cuves de fuel alimentant les moteurs diesel sont munies de cuves de rétention d'un volume égal au volume stocké.
- Un séparateur à hydrocarbures, ainsi qu'une rétention de 10 m³ seront mis en place au niveau du point de collecte des eaux de ruissellement, avant rejet dans le réseau d'eau pluviale.
- Le rejet de l'eau géothermale dans le réseau public d'assainissement ne se fait qu'après refroidissement à 30°C, après autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques par le concessionnaire du réseau, et établissement d'une convention de rejet. Elle sera finalisée et signée par l'entreprise de forages retenue sur appel d'offres.
- Le refroidissement se fera par plusieurs moyens :
 - Passage dans une tour de refroidissement à convection d'air forcé,
 - Passage dans des bacs de stockage, où se fera un échange thermique avec l'atmosphère,
 - Mélange avec de l'eau du réseau (éventuellement, en dernier recours).
- La boue de forage aura toujours une pression de fond maintenue légèrement inférieure à celles des différentes nappes profondes afin d'éviter toutes pénétrations dans ces aquifères.
- En cas de difficultés liées à un éventuel artésianisme, le puits sera maîtrisé avec une saumure. De plus, le foreur mettra en place un Bloc Obturateur de Puits (BOP) permettant de contrôler le forage en toute circonstance.
- Il ne sera pas utilisé de « boues à l'huile » (contenant des hydrocarbures), qui sont parfois utilisées dans des forages pétroliers, notamment pour éviter l'hydratation de certains bancs argileux ou pour réduire le filtrat.

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

Ainsi, les premiers aquifères, les plus vulnérables vis-à-vis d'éventuelles pollutions de surface, seront isolés par un télescopage de deux tubages cimentés aux terrains. L'aquifère sensible de l'Albien et du Néocomien sera également protégé par un tubage cimenté.

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

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

La corrosion de la face interne des tubages sera ralentie par l'injection d'un inhibiteur. La permanence du film sera vérifiée en continu au moyen d'une sonde de contrôle rétractable dans la centrale géothermale.

La commune du Kremlin-Bicêtre fait partie du périmètre du SAGE de la Bièvre. Ce SAGE a été approuvé le 19 avril 2017. Il est entré en révision en 2021.

Au droit du site, il n'y a aucun risque d'inondation, aucune rivière à proximité et aucune zone humide. Il n'y a donc aucun risque de contamination superficielle de la Bièvre ou par la Bièvre.

Le projet est conforme au SAGE de la Bièvre, au SDAGE Seine-Normandie et avec le PLU en vigueur.

Enfin, le projet étant proche de zones accueillant du public, il nécessitera des mesures d'accompagnement spécifiques liées aux nuisances sonores.

Evaluation de l'impact acoustique du projet en phase travaux de forage et principales mesures retenues

L'état acoustique du site a été appréhendé en réalisant une modélisation de l'état initial : les rapports complets réalisés par AD Ingénierie sont disponibles en Annexe 2. L'objectif est d'adapter les mesures de réduction de bruit en fonction des spécificités de la zone d'implantation. Le point de mesure situé en Zone à Emergence Réglementée est noté Point 1 par la suite et est placé sur la vue satellite ci-dessous :



Figure 20 – Point de mesure réalisé dans le cadre de l'évaluation de l'état sonore initial avant-projet

Les mesures ont été réalisées en Leq (moyenne de bruit) de 1 seconde chainée les unes à la suite des autres en longue durée pendant 94h : les valeurs moyennes obtenues en période diurne et en période nocturne sont présentées ci-dessous.

Type de mesure	Heure de début	Durée écoulée	LA90	LA50	LAeq
Résiduel nuit 28/11/2024-29/11/2024	22:00:00	09:00:00	37	39	41
Résiduel nuit 29/11/2024-30/11/2024	22:00:00	09:00:00	34,5	36,5	38
Résiduel nuit 30/11/2024-01/12/2024	22:00:00	09:00:00	32,5	34	35
Résiduel nuit 01/12/2024-02/12/2024	22:00:00	09:00:00	32,5	34,5	36
Résiduel jour 01/12/2024 (dimanche)	07:00:00	15:00:00	36,5	39,5	42,5
Résiduel jour 28/11/2024	14:46:25	07:13:35	39	41	48
Résiduel jour 29/11/2024	07:00:00	15:00:00	40	42	44
Résiduel jour 30/11/2024	07:00:00	15:00:00	36,5	39	43,5
Résiduel jour 02/12/2024	07:00:00	06:05:27	37,5	41	44,5
Valeurs moyennées sur l'ensemble de la durée des mesures (hors dimanche journée)					
Résiduel nuit 28/11/2024-02/12/2024	22:00:00	36:00:00	33	36	38
Résiduel jour 28/11/2024-02/12/2024	14:46:25	43:19:02	37	40,5	44,5

Tableau 6 – Valeurs moyennes des mesures du bruit résiduel en 1 point de mesure en périodes diurne et nocturne en longue durée (du 28 novembre au 2 décembre 2024)

L'objectif de l'étude était de quantifier le bruit résiduel en 1 point, pour définir les futurs objectifs de contribution par rapport au forage et par rapport à la future centrale géothermie/PAC/chaufferie.

Pour la partie forage, les futures contributions globales maximales si la réglementation du bruit de voisinage s'appliquait au forage sont présentées ci-dessous :

Période	Indicateur	Bruit résiduel mesuré en dBA	Bruit ambiant réglementaire en dBA	Contribution réglementaire du site en dBA
Jour	LAeq	38	43	41
Nuit		34	37	34

Tableau 7 – Objectifs globaux au niveau des riverains en Zone à Emergence Réglementée

En période des travaux de forage, les nuisances sonores proviendront :

- De la présence d'engins de chantier motorisés (pelles mécaniques, engins de terrassement...) ;
- D'un trafic de poids lourds qui viendra se cumuler au trafic normal ;
- Des équipements ou techniques utilisés pour certaines opérations de construction ;
- Les principales nuisances interviendront pendant la foration. L'atelier de forage de type pétrolier fonctionnera en continu, 24h/24, et les principales nuisances sonores proviendront :
 - o Des différents moteurs alimentant les pompes à boue, les groupes électrogènes, etc. Ces bruits seront continus ;
 - o Des chocs lors de la manipulation de tiges de forage ou tubages. Ces bruits seront discontinus ;
 - o De la circulation des véhicules servant à l'acheminement et au repli du matériel de forage et des matières premières, aux mouvements des engins liés aux travaux de

génie civil préalables et à l'évacuation des déchets générés par l'activité. Ces bruits seront discontinus.

Après analyse de l'état initial acoustique de la zone autour du projet de géothermie, AD Ingénierie a réalisé une modélisation acoustique de l'impact du chantier sur le niveau sonore ambiant. Le chantier a été modélisé dans le logiciel de prévision acoustique CadnaA. Ce logiciel permet de calculer :

- La propagation sonore dans l'environnement (selon la norme ISO 9613), en prenant en compte les différents paramètres influents : topographie, obstacles, nature du sol...
- Les contributions sonores des sources de bruit, en octave, en des points récepteurs ou sous forme de cartes de bruit.

La puissance acoustique des sources de bruit considérées est détaillée dans le tableau ci-dessous :

Sources (unitaires)	Lw par bandes d'octaves (en dBlin)									Global en dBA
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Pompes eau	102	100	99	95	93	93	93	88	84	98,5
Treuil de forage	104	92	103	96	104	91	88	84	78	102
Chute eau + moteurs sous centrifugeuse	91	81	80	79	76	73	72	73	67	80
Motopompe forage	103	104	105	104	107	100	96	91	85	106,5
Tamis vibrant	118	109	91	94	90	87	81	78	74	93
Porte ouverte conteneur centrifugeuse	95	79	81	83	86	87	83	82	79	91
Moteur cuve boue	103	102	102	101	95	92	88	84	82	98
Ventilation centrale électrique	89	92	100	102	99	96	92	85	79	101

Tableau 8 – Sources de bruit et puissances considérées par appareil pour la modélisation acoustique du chantier du Kremlin-Bicêtre (Source : AD Ingénierie)

Les points de mesures considérés pour la modélisation 2D sont présentés ci-dessous.

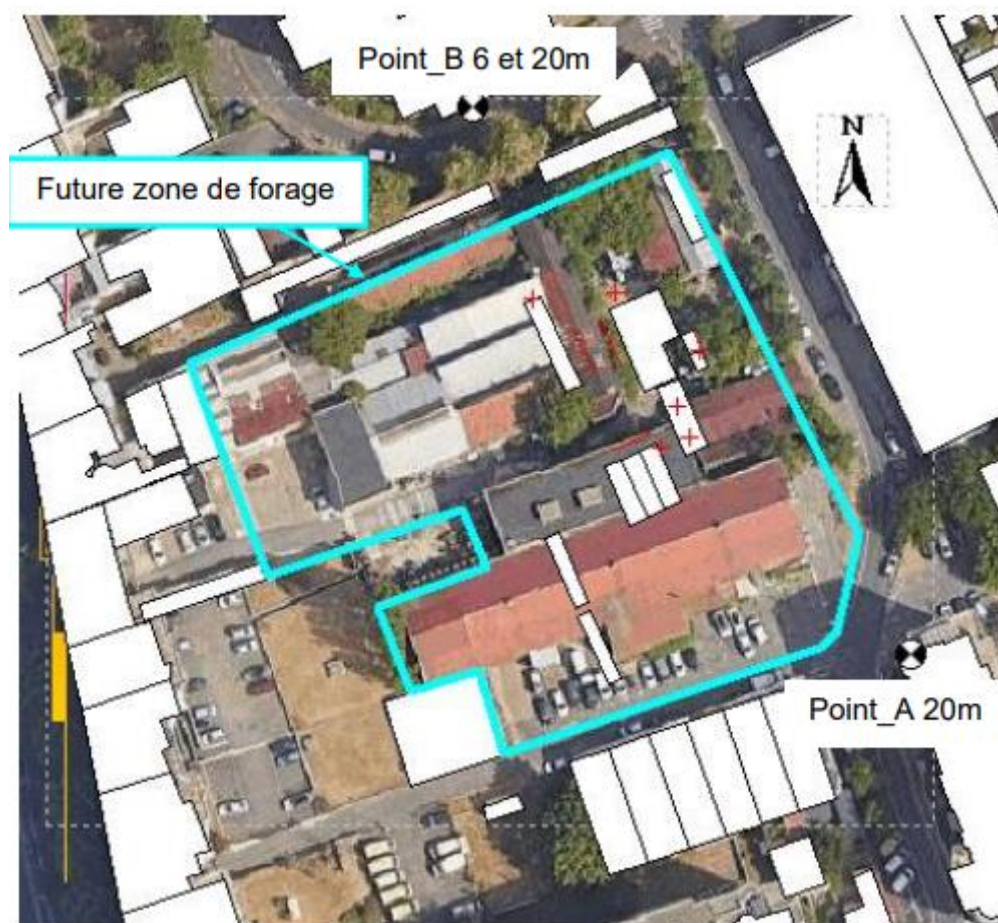


Figure 21 – Localisation des points de mesure pour la modélisation acoustique de l'impact du chantier sur la zone du projet de géothermie (Source : AD Ingénierie)

La modélisation 3D est disponible ci-dessous.



Figure 22 – Modélisation 3D du site dans CadnaA avec les appareils retenus pour les estimations de bruit du chantier du Kremlin-Bicêtre (Source : AD Ingénierie)

La carte des résultats sonore en dBA est présentée ci-dessous. L'impact du projet n'est pas négligeable sur la valeur du bruit ambiant à proximité de la zone de forage.

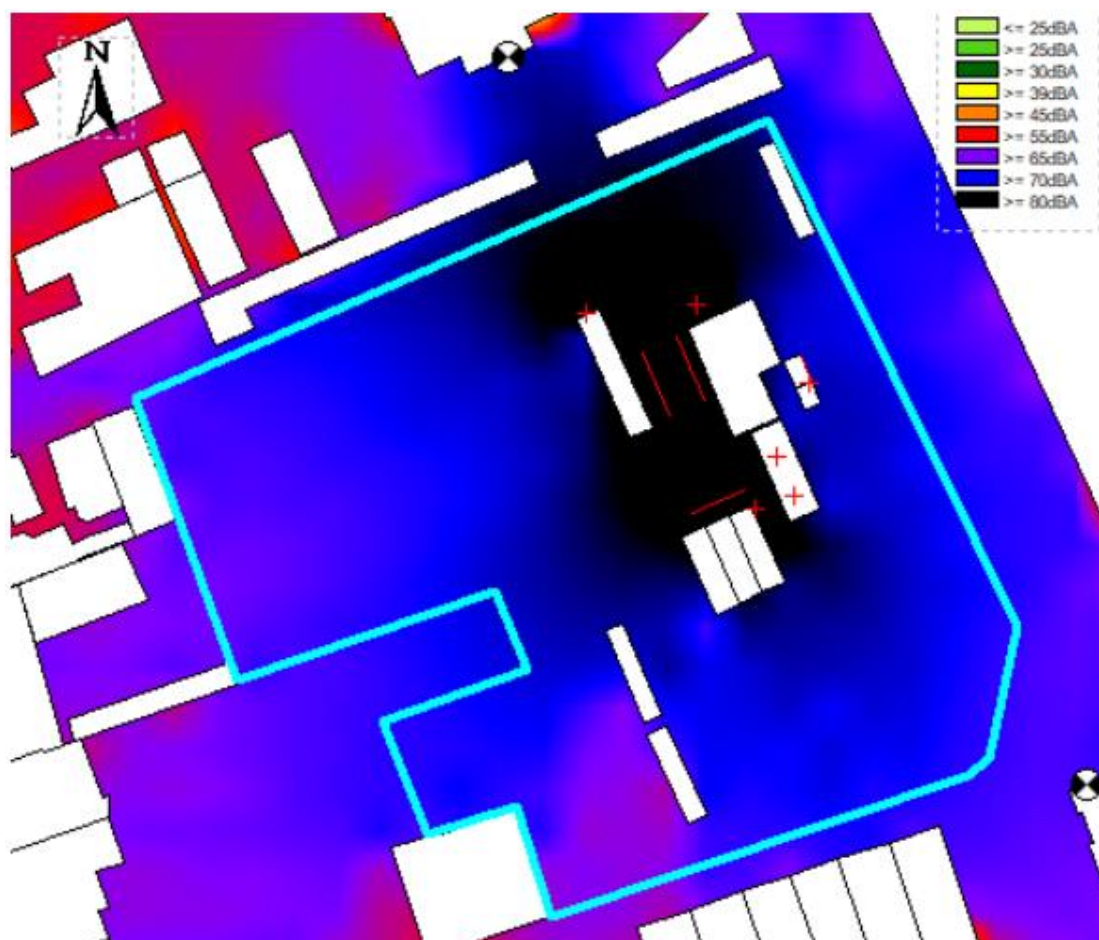


Figure 23 – Cartographie sonore en dBA (Source : AD Ingénierie)

Installations	Point A_20m	Point B_6m	Point B_20m
Ventilation Centrale Electrique	51	66	65
Moteur cuve boue	49	61	60
Tamis vibrants (-2)	58	56	55
Pompe eau	60	56	56
Porte ouverte conteneur centrifugeuse	50	40	48
Motopompe Forage (*2)	66	69	69
Treuil de forage	59	60	60
Chute eau+moteur installation Solid Control	38	38	37
Contribution totale des sources étudiées	68,5	72	71,5

Tableau 9 – Résultats par point de calcul en dBA (Source : AD Ingénierie)

AD Ingénierie propose donc la mise en place de mesure corrective afin d'atténuer l'effet du chantier sur les riverains avec la mise en place d'un écran acoustique comme présenté sur la figure ci-dessous.



Figure 24 – Mise en place d'un écran acoustique pour limiter l'impact du bruit sur les commodités autour du projet
(Source : AD Ingénierie)

La diminution du niveau sonore après mise en place de ce mur est présentée sur la figure ci-dessous.

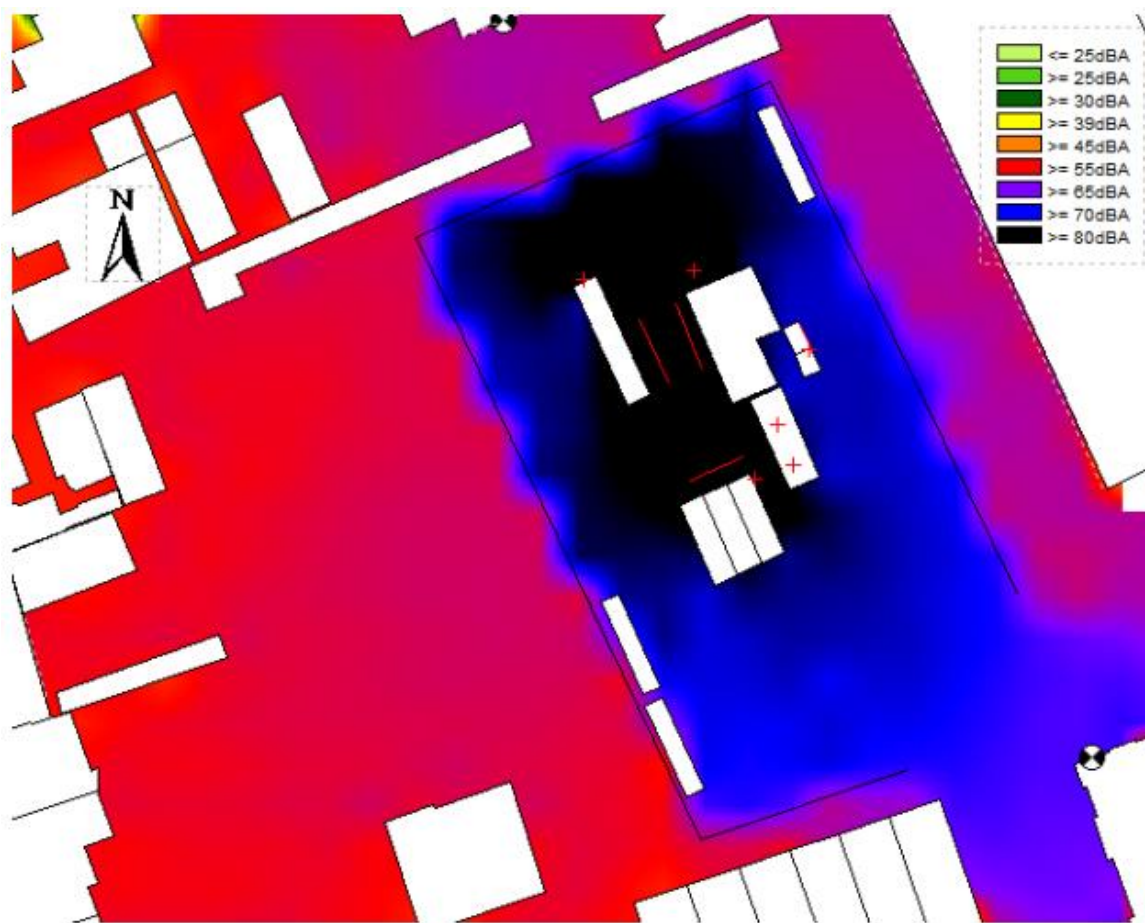


Figure 25 – Cartographie sonore en dBA à 1,5m de hauteur avec implantation d'un écran de 8m (Source : AD Ingénierie)

Installations	Point A_20m	Point B_6m	Point B_20m
Ventilation Centrale Electrique	54	52	65
Moteur cuve boue	52	49	59
Tamis vibrant (*2)	58	49	55
Pompe eau	60	50	56
Porte ouverte conteneur centrifugeuse	50	40	48
Motopompe de Forage (*2)	67	61	69
Treuil de forage	59	55	60
Chute eau + moteur installation Solid Control	38	30	34
Contribution totale des sources étudiées	69	63	71,5

Tableau 10 – Résultats par point de calcul en dBA (Source : AD Ingénierie)

La mise en place de l'écran est efficace pour réduire l'impact sonore du projet sur les riverains, mais n'a pas d'impact favorable pour les points situés à 20m : en effet, ils se situent au-dessus de l'écran. La

mise en place, en complément de l'écran acoustique, de traitements à la source pour améliorer la situation sonore au niveau du voisinage, est présentée ci-dessous. La fermeture de la porte conteneur centrifugeuse par une porte d'affaiblissement acoustique suffisant et le capotage de la chute d'eau et du moteur Solid Control permet l'atteinte du gain requis

Installations	Point B_20m		
	Actuel	Gains	Traité
Ventilation Centrale Electrique	65	39	26
Moteur cuve boue	59	35	24
Tamis vibrant (*2)	55	35	20
Pompe eau	56	35	21
Porte ouverte conteneur centrifugeuse	48	25	23
Motopompe de Forage (*2)	69	42	27
Treuil de forage	60	35	25
Chute eau + moteur installation Solid Control	34	15	19
Contribution totale des sources étudiées	71,5	37,5	34

Tableau 11 – Gains complémentaires en dBA (Source : AD Ingénierie)

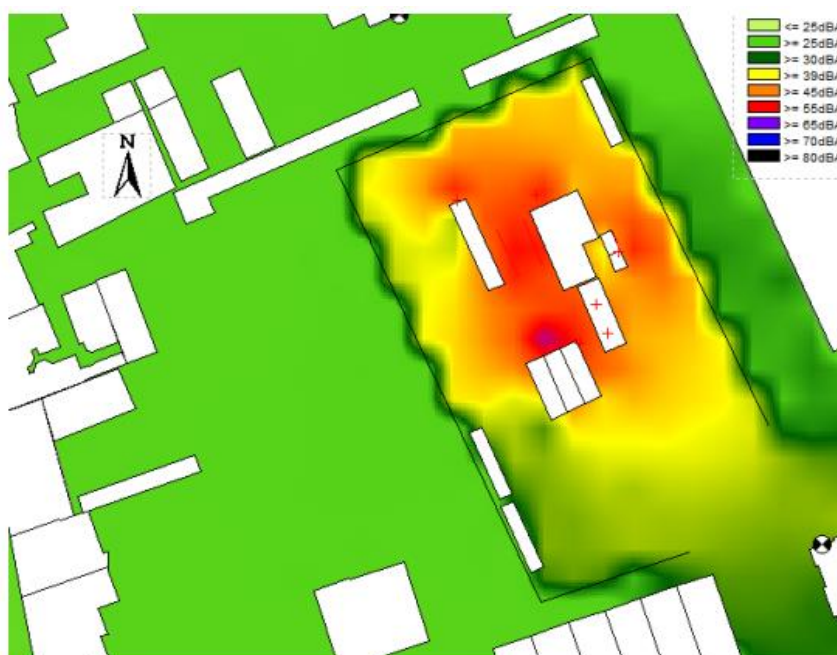


Figure 26 – Cartographie sonore en dBA à 1,5m de haut avec implantation d'un écran de 8m et de traitements à la source (Source : AD Ingénierie)

Ces mesures permettent de cantonner l'augmentation du niveau sonore quasi exclusivement à la zone chantier.

Préalablement au démarrage du chantier, des mesures de bruits de référence de jour et de nuit seront réalisées.

Un calfeutrement des équipements les plus bruyants sera réalisé, afin de diminuer l'incidence sonore du chantier. Une information sera faite auprès des personnes concernées qui sera renouvelée avant chaque phase bruyante, afin d'exposer la nuisance à venir et ce qui est mis en œuvre pour diminuer la gêne.

Les dispositions générales suivantes seront prises :

- Limitation des circulations de véhicules et définition des sens de circulation sur le chantier pour limiter l'usage des avertisseurs de recul ;
- Éloignement - dans la mesure du possible - des équipements et des activités bruyantes des riverains ;
- Placement des pompes, du treuil, des groupes électrogènes au sein d'un capotage à structure rigide, permettant un affaiblissement acoustique ;
- Mise en œuvre de panneaux avec bâches acoustiques sur la majeure partie de la limite de chantier de manière à limiter l'impact sonore au sol et pour les premiers niveaux des bâtiments alentours ;
- Recours privilégié à l'alimentation électrique du réseau local chaque fois que possible, afin de diminuer les temps de fonctionnement des moteurs thermiques des groupes électrogènes ;
- La livraison de matériels ou produits ne sera pas effectuée de nuit. Les transports de nuit concerneront essentiellement des véhicules légers du personnel ;
- L'aménagement des horaires des tâches les plus bruyantes en fonction des riverains pour limiter la gêne ;
- Un point de monitoring sera installé sur le chantier durant toute la phase travaux de forage ;
- Mise en place de traitement sur les sorties d'air des génératrices ;
- Mise en place potentielle d'un mur acoustique en limite d'une partie de la zone chantier.

Rappels des enjeux liés à la pollution du sol pour le projet et mesures associées

Comme indiqué dans l'étude d'impact, des études de pollution sont actuellement menées par l'EPFIF sur l'ensemble des parcelles concernées par le projet, aussi bien celle appartenant à l'EPFIF que celle appartenant à la ville du Kremlin-Bicêtre, en cours afin d'évaluer l'état initial de pollution du sol avant sa réhabilitation (le courrier de l'EPFIF sur la réalisation des études de pollution puis portage de la démolition est disponible en annexe 3).

Les parcelles concernées par le projet étant bâties et anciennement porteuses d'activités potentiellement polluantes, l'EPFIF a réalisé un diagnostic de pollution des sols : cette étude est disponible en annexe 3.

Le Sipperec, et le futur délégataire lorsqu'il sera retenu, s'engage à mettre œuvre les recommandations énoncées dans le diagnostic de pollution des sols réalisés par l'EPFIF, étant entendu que le périmètre considéré est celui des travaux d'aménagement correspondant à la construction de la centrale de géothermie et de la zone de maintenance des puits de géothermie (2 400 m² environ) qui font l'objet d'une acquisition foncière par le Sipperec, et le futur délégataire lorsqu'il sera retenu, sur une partie des parcelles F136 et F125. Le Sipperec, et son futur délégataire, n'ont pas vocation à dépolluer le reste des parcelles F136 et F125, dont l'EPFIF et la ville du Kremlin-Bicêtre restent propriétaires, et sur lesquelles un projet d'aménagement est prévu.

Rappels des enjeux liés à la biodiversité pour le projet et mesures associées

Une étude de l'impact acoustique du chantier a été réalisée avec des modélisations. Un environnement sonore bruyant peut entraîner différentes conséquences sur la faune : stress, pathologies, sommeil dégradé, difficultés à communiquer ou à entendre des prédateurs, perturbation de la reproduction...

Des mesures de réduction ont été proposées afin de réduire l'impact sonore du chantier sur la faune :

- Traitements acoustiques complémentaires sur les sorties d'air des génératrices permettant une atténuation des nuisances ;
- Capotage du mixeur et des pompes avec un objectif d'atténuation ;
- Mur acoustique (pouvant être réalisés en disposant de façon adéquat les bungalows).

L'éclairage permanent représente également une source de pollution lumineuse et peut donc entraîner des conséquences sur la faune. Il s'agit cependant d'une mesure de sécurité en chantier cruciale pour le personnel sur place en raison du fonctionnement continu de l'installation de forage.

Rappelons que l'impact sonore et visuel de la phase chantier ne sera que temporaire et donc n'aura pas une incidence durable sur la biodiversité présente sur le site.

Des mesures d'évitements sont décrites dans l'étude de manière à limiter au maximum l'impact du projet sur les zones à enjeux et plus généralement sur la biodiversité du secteur (optimisation de l'emprise de chantier, réduction de la plateforme, mesures de contrôle des rejets, fuites et des déchets, limitation du nombre de rotation des véhicules, équipements enterrés non visibles, désimperméabilisation des sols grâce au projet, etc.). Une réhabilitation du site après forage est également prévue, ainsi que d'autres mesures de compensation (replantation de végétations par exemple).

Géothermie et risque sismique

Les essais de mise en service du projet, à Vendenheim (67) ont entraîné des séismes, a priori induits, au cours des années 2019 et 2020 (séismes des 28 octobre et 12 novembre 2019 à Strasbourg, des 4 et 25 décembre 2020 à Vendenheim). Il convient de souligner les différences entre ce projet et celui qui fait l'objet de la présente demande d'autorisation.

→ La géothermie « profonde de socle » ou « haute température » ou encore « haute énergie »

La géothermie « profonde de socle » ou « haute température » ou encore « haute énergie » vise à exploiter des eaux ayant une température généralement supérieure à 150°C et circulant dans des zones où le contexte géologique permet leur remontée à une relative faible profondeur (de 2000 à 5000 m). L'objectif est alors de produire de l'électricité à partir de la chaleur géothermique. La chaleur résiduelle peut aussi faire l'objet d'une valorisation en surface (principe de la cogénération).

Ce type d'opération relève d'une autorisation ministérielle et est traitée dans le Code Minier, dans la catégorie des opérations de puissance supérieure à 20 MW (20 000 kW).

Cette géothermie s'adresse à des sites où des conditions particulières permettant de disposer dans le sous-sol de fluides circulant à haute température. C'est le cas des contextes volcaniques, des contextes à forte activité tectonique passée ou actuelle (systèmes de failles dans le sous-sol, actives ou inactives) ou des systèmes hydrothermaux à forte profondeur (>3000 m). Très souvent à cette profondeur, les débits circulant dans le sous-sol sont faibles et des techniques consistant à injecter un flux d'eau artificiel dans le sous-sol (supérieur à celui naturellement présent) ont été développées ; ces techniques sont appelées EGS pour « Enhanced Geothermal Systems » (Systèmes Géothermiques Améliorés). Ces systèmes supposent des injections d'eau à des pressions importantes, de l'ordre de 100 bars pour permettre la circulation des fluides dans les failles du sous-sol.

Tous les projets de ce type existants en France se trouvent dans le fossé rhénan. Des permis de recherche ont aussi été déposés dans le Massif central, la Drôme, la région de Pau et le Nord, mais aucun ouvrage n'a été réalisé à ce jour dans ces régions. On citera aussi la Guadeloupe où, en association avec le contexte volcanique, des eaux entre 250 et 260 °C sont exploitées à des profondeurs comprises entre 500 et 1000 m (champ de Bouillante).

En Métropole, à la frontière entre la France et l'Allemagne, les opérations de géothermie à haute température actuelles sont liées à l'existence d'une zone tectonique très particulière. En effet, le fossé Rhénan, long de 300 km et large de 35 à 50 km, est constitué de compartiments effondrés (grabens) dans un secteur présentant de nombreuses failles. Il correspond à un rift continental (Figure 27).



Figure 27 – Schéma du fossé rhénan (source : Eduterre)

C'est ce système de failles qui permet la circulation d'eaux très chaudes (températures supérieures à 150°C) à de relativement faibles profondeurs (2000 à 5000 m), et qui explique la localisation des opérations de géothermie profonde dans ce secteur : démonstrateur EGS à Soultz-Sous-Forêts, projet d'Electricité de Strasbourg à Illkirch-Graffenstaden, projets Vendenheim et à Eckbolsheim, projet de l'Usine Roquette à Rittershoffen.

Le fossé rhénan est l'une des régions européennes les plus actives naturellement d'un point de vue sismique. Pour autant, les incidents sismiques constatés à Vendenheim correspondent a priori à une sismicité induite par les essais de production, l'injection d'eau à haute pression dans le système de failles facilitant leur relâchement brutal. Cette sismicité induite est un phénomène qui était attendu - et surveillé -, mais dont l'ampleur connue en décembre 2020 a dépassé les prévisions. On notera que par le passé, les projets de Soultz-Sous-Forêts, Landau et Bruchsal en Allemagne, Bâle en Suisse ou encore Mol en Belgique avaient déjà connu des phénomènes sismiques comparables. Généralement, ces phénomènes sont limités dans le temps et se produisent lors de la période de mise en service du système.

➔ **La géothermie « profonde de bassin » à « faible ou moyenne température » ou encore « basse énergie »**

Ce type de géothermie couvre le domaine allant de 0 à 2000 m de profondeur. Ici, il n'est pas recherché de contexte tectonique particulier et ce sont simplement les aquifères présents dans le sous-sol à plus ou moins grande profondeur qui sont exploités, la température de l'eau souterraine augmentant avec la profondeur (en moyenne de 3°C/100 m en France). L'exemple du bassin de Paris est illustré sur la Figure 28.

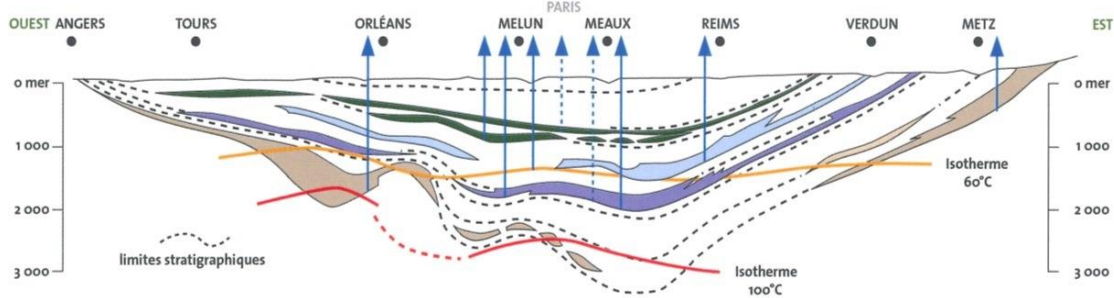


Figure 28 – Schéma du Bassin parisien (source : BRGM).

Ce type d'opérations relève d'une autorisation préfectorale au titre du Code Minier dans la catégorie des opérations de puissance inférieure à 20 MW (20 000 kW).

Dans ce cas, la valorisation en surface est uniquement thermique. Les températures des eaux exploitées dans ces opérations sont comprises entre 15°C et environ 80 °C. Les pressions utilisées pour la réinjection des eaux sont faibles. De nombreux ouvrages fonctionnent simplement par injection gravitaire, à la pression atmosphérique. Toutefois lorsque le niveau de la nappe est élevé, une injection sous pression est nécessaire, mais excède rarement 30 bars.

Les principales opérations existantes sont situées dans les grands bassins sédimentaires (Bassin parisien, Bassin aquitain) où l'on peut rencontrer des nappes d'eau souterraine profondes circulant au sein des terrains perméables (sables, calcaires, dolomies), sans que la présence d'un système de failles

ne soit nécessaire pour permettre l'écoulement. Cette absence de système faillé, ainsi que les faibles pressions d'injection utilisées, expliquent qu'aucune sismicité induite n'ait été mise en évidence sur ce type de projets (la géothermie de ce type est exploitée industriellement depuis les années 1970 dans le Bassin parisien). Les eaux injectées circulent dans les pores du terrain sans que des phénomènes de réagencement des terrains ne soient produits du fait des faibles forces mises en jeu (pression d'injection limitée).

Actuellement, une cinquantaine de doublet et triplet de forages à 1800 m de profondeur exploitent la nappe du Dogger en région parisienne (nappe à environ 70°C, débits supérieurs à 200 m³/h) et une dizaine d'ouvrages en Aquitaine d'une profondeur entre 1000 et 1500 m, existent depuis les années 1980, sans qu'aucun phénomène de sismicité induite n'ait été rapporté.

➔ Conclusion

Ces éléments montrent qu'il est nécessaire de bien faire la différence entre les types de géothermie par rapport au risque de sismicité induite. Si la géothermie à Haute Température est sensible à ce phénomène, ce n'est pas le cas de la géothermie à Basse Température. Les cinquante années de recul disponibles en Île-de-France sur ce type de géothermie apportent une garantie forte en la matière.

Nota : En complément, le communiqué de presse de l'Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG) qui aborde cette même thématique est disponible en Annexe 4. Le mémoire d'analyse des risques sismiques est également disponible en Annexe 5.

Glossaire

AFPG : Association Française des Professionnels de la Géothermie, a été créée le 15 juin 2010 à Paris. L'AFPG représente différents métiers de l'énergie géothermique en France métropolitaine et dans les DROM : foreurs, fabricant et installateurs de pompes à chaleur, gestionnaires de réseaux de chaleur, bureaux d'études, etc.

Aquifère : Formation géologique contenant de façon temporaire ou permanente de l'eau mobilisable, constituée de roches perméables et capable de la restituer naturellement et/ou par exploitation. On distingue :

- Aquifère à nappe libre : l'aquifère reposant sur une couche très peu perméable est surmontée d'une zone non saturée en eau.
- Aquifère captif (ou nappe captive) : dans une nappe captive, l'eau souterraine est confinée entre deux formations très peu perméables. Lorsqu'un forage atteint une nappe captive, l'eau remonte dans le forage (nappe artésienne).

BOP : « Blow Out Preventer » ou Bloc Obturateur de Puits. Mesure de sécurité pour éviter toutes venues de fluide incontrôlées en cours de forage.

Boucle géothermale : Circuit de l'eau souterraine (eau géothermale) puisée dans l'aquifère et qui y retourne. Elle cède dans la centrale ses calories à la boucle géothermique.

Boue de forage : Désigne un fluide de composition spécifique qui permet de refroidir l'outil de forage, remonter les déblais, et maintenir les parois du forage.

Caliper : Mesure du diamètre du forage et localisation de cavage ou collapse : la sonde utilisée est une sonde excentrée à un bras palpeur maintenu en contact avec la paroi du trou et reliée mécaniquement, via une crémaillère, à un potentiomètre dont la résistance varie en fonction de l'écartement du bras.

Centrale géothermique : Ensemble des équipements de surface permettant la récupération de la chaleur (énergie) contenue dans le fluide géothermal et le départ vers le circuit de distribution de l'énergie (chaleur ou électricité). La centrale comprend tous les équipements nécessaires à ce transfert (systèmes de régulation, échangeurs, pompes...). Tous ces équipements peuvent être regroupés dans un même bâtiment.

Cimentation : La cimentation d'un tubage dans un forage consiste à injecter un laitier de ciment dans l'espace annulaire entre le tubage et la paroi naturelle du forage. La cimentation a pour but de sceller le tubage aux terrains traversés ce qui permet de protéger la qualité des eaux souterraines (afin éviter le mélange d'eaux de différents niveaux et l'infiltration d'eau de surface).

Colonne de production (colonne d'exhaure) : Conduite verticale disposée dans un forage servant à pomper l'eau souterraine.

Débit d'un forage : Quantité d'eau extraite d'un forage par unité de temps exprimée généralement en m³/h.

Délégation de service public : L'ensemble des contrats par lesquels une personne morale de droit public confie la gestion d'un service public dont elle a la responsabilité à un délégataire public ou privé dont la rémunération est substantiellement liée au résultat d'exploitation du service. C'est une notion de droit français. La délégation de service public est le régime le plus fréquent de gestion déléguée des services publics, la collectivité pouvant par ailleurs opter pour une gestion directe du service (on parle alors de gestion en régie).

Dogger : Principal aquifère géothermique exploité en région parisienne, systématiquement par «doublets» de forages. Il se situe entre 1 500 et 2 000 mètres de profondeur et contient une eau d'une température variant en fonction de la profondeur de 55 °C à 85 °C. Le Dogger correspond à des dépôts anciens (- 175 à -154 millions d'année) à dominante calcaire du Jurassique moyen. L'eau contenue dans cet aquifère est largement minéralisée (6,5 à 35 g/l).

Doublet (géothermique) : Ensemble de deux forages associés, l'un étant dédié à la production du fluide géothermal, l'autre à la réinjection du fluide refroidi dans l'aquifère d'origine. Cette configuration présente plusieurs avantages : absence de rejets dans l'environnement (circuit en boucle fermée), pérennité du débit hydraulique, stabilité des pressions d'exploitation.

Drill Collar : Masse tige, tige de forte épaisseur placée au-dessus de l'outil pour encaisser les efforts de compression.

Drill Pipe Tige de forage

Drill rig Machine de forage

DV : Diverting Valve : Dispositif à fenêtre coulissante permettant de réaliser la cimentation d'un tubage en plusieurs passes (étages) pour limiter la pression hydraulique de mise en oeuvre. On dit aussi Differential Valve.

Échangeur de chaleur : Équipement permettant à un fluide chaud de céder sa chaleur à un fluide plus froid. Dans une pompe à chaleur, il existe deux types d'échangeur de chaleur : le condenseur et l'évaporateur.

Essais de production : Après la réalisation d'un forage, les pompages d'essais consistent en une série de tests et mesures ayant pour objectifs : de vérifier la capacité de production du forage (débit), d'évaluer l'influence du futur prélèvement sur les ouvrages voisins (rayon d'influence).

Garniture de forage : La garniture de forage c'est l'ensemble des tubulaires introduites dans le puits pour assurer un avancement de sondage, dont Les principaux objectifs sont :

- Transmettre le mouvement vers l'outil de forage.
- Appliquer un poids suffisant sur l'outil
- Mesurer la profondeur exacte du puits
- Conduire les fluides du forage du surface jusqu'à l'outil
- Réaliser les opérations liées au forage (cimentation, DST, LOGGING, perforation...).

L'unité de forage est composée d'un derrick et d'une garniture de forage (drill stem). La garniture de forage comprend les tiges de forage (DP drill pipes) et une partie inférieure appelée BHA (Bottom Hole Assembly).

Assembly). La BHA comprend les masses tiges (drill collar), les stabilisateurs, le moteur de fond, éventuellement un système de mesures (MWD measurement while drilling), une coulisse de battage, un absorbeur de chocs. Sous la BHA se trouve l'outil de forage proprement dit (trépan, tricône, etc.) qui sert de source sismique lors du forage.

Inhibiteur de corrosion : En traitement des eaux, désigne des produits chimiques ajoutés à l'eau qui empêchent son action corrosive sur les conduites métalliques par formation d'une pellicule protectrice sur le métal.

Niveau piézométrique : Niveau libre de l'eau observé dans un puits ou forage rapporté à un niveau de référence (repère, sol...) ; l'altitude de ce niveau est la cote piézométrique donnée par rapport au nivellement général de la France (NGF). En forage profond (géothermie), ce niveau dépend de la masse volumique, elle-même influencée par la température et la salinité de l'eau.

Perméabilité : Aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide.

Porosité : Caractéristique intrinsèque des terrains ; elle est égale au rapport du volume des vides sur le volume total de la roche, et s'exprime en pourcentage. La porosité totale d'une roche est très variable : de 1 à 50%. Plus la roche est poreuse, plus elle contiendra de l'eau. On distingue la porosité de matrice (ou d'interstice) de la porosité de fissure. Ne pas confondre porosité et perméabilité : dans une roche poreuse, si les « vides » du terrain ne sont pas interconnectés, l'eau ne pourra pas circuler. Dans ce cas, la perméabilité est faible malgré une forte porosité.

Réseau de chaleur : Un réseau de chaleur encore appelé réseau de chauffage urbain est un ensemble de canalisations qui empruntent, en général, le sous-sol des voies publiques pour distribuer de la chaleur en milieu urbain. La chaleur est transportée, soit sous forme d'eau chaude, soit sous forme de vapeur d'eau. Les utilisateurs se raccordent au réseau pour prélever, grâce à un échangeur, une partie de cette chaleur, puis ils la distribuent dans leurs locaux. La production de chaleur pour le réseau se fait dans des centrales importantes qui utilisent de multiples énergies telles que le fioul lourd, le charbon, le gaz, la géothermie ou la chaleur provenant de l'incinération des ordures ménagères. Il existe également des réseaux de froid qui distribuent de l'eau glacée destinée au rafraîchissement des locaux.

Rotary : Le « rotary » est une méthode de forage par rotation et broyage de la roche.

Sabot : Le sabot (ou tubage de fond ou poubelle) se trouve à la terminaison du tubage de production ou des crépines. Il est censé créer une zone morte du point de vue de la circulation en cas de pompage ou d'injection. Il permet la sédimentation de particules, et la mise à l'écart de la circulation des objets qui tomberaient malencontreusement dans la colonne.

Side Track : Reprise en déviation d'un forage

Temps de percée thermique d'un doublet : Le temps de percée correspond à l'instant où la température des eaux pompées au puits de production est impactée par la température plus basse des eaux réinjectées dans l'autre puits.

Transmissivité : Paramètre qui régit le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de l'aquifère, sous l'effet du gradient hydraulique ; elle dépend de l'épaisseur de l'aquifère et de sa perméabilité. La transmissivité permet d'évaluer le débit que peut capter un forage.

Tube guide ou cuvelage : Le tube guide est généralement nécessaire et peut être défini comme le tube qui isole tout le puits des terrains encaissants et qui durant les opérations contient le fluide de forage.

Tubage intermédiaire : Le tubage intermédiaire est facultatif et peut être défini comme le tubage installé dans un puits après l'installation et à l'intérieur du tubage de surface et dans lequel les opérations de forage ultérieures peuvent être effectuées à l'intérieur du puits.

Tubage de production : Le tubage de production isole l'encaissant du système d'exploitation (pompe et tiges). Ce tubage est cimenté dans l'encaissant, du moins dans la partie basse du forage si un tubage intermédiaire est utilisé.

Zone non saturée : Zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface d'une nappe libre.

Zone saturée : Zone du sous-sol dans laquelle l'eau occupe complètement les interstices des roches, formant, dans un aquifère, une nappe d'eau souterraine.

ZNIEFF : Zones d'Intérêt Ecologique, Floristique et Faunistique.

Annexes

Annexe 1 – Courrier d'accord d'Argéo sur l'impact envisagé du doublet du Kremlin-Bicêtre

Annexe 2 – Rapports acoustiques – AD Ingénierie

Annexe 3 – Courrier de l'EPFIF sur la réalisation des études de pollution puis portage de la démolition & Diagnostic de pollution des sols

Annexe 4 – Communiqué AFPG sur la sismicité en géothermie profonde

Annexe 5 – Mémoire d'analyse des risques sismiques

Annexe 6 – Dossier d'étude au cas par cas et Réponse DRIEAT