



Demande d'examen au cas par cas préalable à la réalisation éventuelle d'une évaluation environnementale

Article R. 122-3-1 du code de l'environnement

Ce formulaire sera publié sur le site internet de l'autorité chargée de l'examen au cas par cas.
Avant de remplir cette demande, lire attentivement la notice explicative.

Ce document est émis par le ministère en charge de l'écologie.

Ce formulaire peut se remplir facilement sur ordinateur. Si vous ne disposez pas du logiciel adapté, vous pouvez télécharger Adobe Acrobat Reader gratuitement [via ce lien](#) 

Cadre réservé à l'autorité chargée de l'examen au cas par cas

Date de réception : / /

Dossier complet le : / /

N° d'enregistrement :

1 Intitulé du projet

2 Identification du (ou des) maître(s) d'ouvrage ou du (ou des) pétitionnaire(s)

2.1 Personne physique

Nom

Prénom(s)

2.2 Personne morale

Dénomination

Raison sociale

N° SIRET

Type de société (SA, SCI...)

Représentant de la personne morale : Madame

Monsieur

Nom

Prénom(s)

La loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux données nominatives portées dans ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour ces données auprès du service destinataire.

3 Catégorie(s) applicable(s) du tableau des seuils et critères annexé à l'article R. 122-2 du code de l'environnement et dimensionnement correspondant du projet

| N° de catégorie et sous-catégorie | Caractéristiques du projet au regard des seuils et critères de la catégorie (Préciser les éventuelles rubriques issues d'autres nomenclatures (ICPE, IOTA, etc.) |
|-----------------------------------|--|
| | |

3.1 Le projet fait-il l'objet d'un examen au cas par cas dans le cadre du dispositif prévu aux I et II de l'article R.122-2-1 du code de l'environnement ? (clause-filet) ?

Oui Non

3.2 Le projet fait-il l'objet d'une soumission volontaire à examen au cas par cas au titre du III de l'article R.122-2-1 ?

Oui Non

4 Caractéristiques générales du projet

Doivent être annexées au présent formulaire les pièces énoncées à la rubrique 8.1 du formulaire.

4.1 Nature du projet, y compris les éventuels travaux de démolition

4.2 Objectifs du projet

4.3 Décrivez sommairement le projet

4.3.1 Dans sa phase travaux



4.3.2 Dans sa phase d'exploitation et de démantèlement



4.4 À quelle(s) procédure(s) administrative(s) d'autorisation le projet a-t-il été ou sera-t-il soumis ?

① La décision de l'autorité chargée de l'examen au cas par cas devra être jointe au(x) dossier(s) d'autorisation(s).



4.5 Dimensions et caractéristiques du projet et superficie globale de l'opération - préciser les unités de mesure utilisées

| Grandeurs caractéristiques du projet | Valeurs |
|--------------------------------------|---------|
| | |

4.6 Localisation du projet

Adresse et commune d'implantation

Numéro : Voie :

Lieu-dit :

Localité :

Code postal : BP : Cedex :

Coordonnées géographiques^[1]

Long. : ° ' " Lat. : ° ' "

Pour les catégories 5° a), 6° a), b) et c), 7°a), 9°a), 10°,11°a) b),12°,13°, 22°, 32°, 33°, 34°, 35°, 36°, 37°, 38°, 43° a), b) de l'annexe à l'article R. 122-2 du code de l'environnement

Point de départ : Long. : ° ' " Lat. : ° ' "

Point de d'arrivée : Long. : ° ' " Lat. : ° ' "

Communes traversées :

Précisez le document d'urbanisme en vigueur et les zonages auxquels le projet est soumis :

 Joignez à votre demande les annexes n°2 à 6.

4.7 S'agit-il d'une modification/extension d'une installation ou d'un ouvrage existant ?

Oui Non

4.7.1 Si oui, cette installation ou cet ouvrage avait-il fait l'objet d'une évaluation environnementale ?

Oui Non

[1] Pour l'outre-mer, voir notice explicative.

4.7.2 Si oui, décrivez sommairement les différentes composantes de votre projet et indiquez à quelle date il a été autorisé ? En cas de modification du projet, préciser les caractéristiques du projet « avant /après ».

5 Sensibilité environnementale de la zone d'implantation envisagée

i Afin de réunir les informations nécessaires pour remplir le tableau ci-dessous, vous pouvez vous rapprocher des services instructeurs, et vous référer notamment à l'outil de cartographie interactive Géo-IDE, disponible sur le site de chaque direction régionale.

Le site Internet du ministère de l'environnement vous propose, dans la rubrique concernant la demande de cas par cas, la liste des sites internet où trouver les données environnementales par région utiles pour remplir le formulaire.

| Le projet se situe-t-il : | Oui | Non | Lequel/Laquelle ? |
|--|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| Dans une zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique de type I ou II (ZNIEFF) ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| En zone de montagne ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Dans une zone couverte par un arrêté de protection de biotope ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Sur le territoire d'une commune littorale ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Dans un parc national, un parc naturel marin, une réserve naturelle (nationale ou régionale), une zone de conservation halieutique ou un parc naturel régional ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |

| Le projet se situe-t-il : | Oui | Non | Lequel/Laquelle ? |
|--|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| Sur un territoire couvert par un plan de prévention du bruit, arrêté ou le cas échéant, en cours d'élaboration ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Dans un bien inscrit au patrimoine mondial ou sa zone tampon, un monument historique ou ses abords ou un site patrimonial remarquable ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Dans une zone humide ayant fait l'objet d'une délimitation ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Dans une commune couverte par un plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN) ou par un plan de prévention des risques technologiques (PPRT) ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Si oui, est-il prescrit ou approuvé ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Dans un site ou sur des sols pollués ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Dans une zone de répartition des eaux ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Dans un périmètre de protection rapprochée d'un captage d'eau destiné à la consommation humaine ou d'eau minérale naturelle ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Dans un site inscrit ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |

| Le projet se situe-t-il dans ou à proximité : | Oui | Non | Lequel et à quelle distance ? |
|---|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| D'un site Natura 2000 ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| D'un site classé ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |

6 Caractéristiques de l'impact potentiel du projet sur l'environnement et la santé humaine au vu des informations disponibles

6.1 Le projet est-il susceptible d'avoir les incidences notables suivantes ?

Veuillez compléter le tableau suivant :

| Incidences potentielles | | Oui | Non | De quelle nature ? De quelle importance ? Appréciez sommairement l'impact potentiel |
|-------------------------|--|--------------------------|--------------------------|--|
| Ressources | Engendre-t-il des prélèvements d'eau ? Si oui, dans quel milieu ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | Impliquera-t-il des drainages/ou des modifications prévisibles des masses d'eau souterraines ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | Est-il excédentaire en matériaux ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | Est-il déficitaire en matériaux ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | Si oui, utilise-t-il les ressources naturelles du sol ou du sous-sol ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |

| Incidences potentielles | | Oui | Non | De quelle nature ? De quelle importance ? Appréciez sommairement l'impact potentiel |
|-------------------------|---|--------------------------|--------------------------|--|
| Ressources | Est-il en adéquation avec les ressources disponibles, les équipements d'alimentation en eau potable/ assainissement ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | Est-il susceptible d'entraîner des perturbations, des dégradations, des destructions de la biodiversité existante : faune, flore, habitats, continuités écologiques ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Milieu naturel | Si le projet est situé dans ou à proximité d'un site Natura 2000, est-il susceptible d'avoir un impact sur un habitat / une espèce inscrit(e) au Formulaire Standard de Données du site ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | Engendre-t-il la consommation d'espaces naturels, agricoles, forestiers, maritimes ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Risques | Est-il concerné par des risques technologiques ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | Est-il concerné par des risques naturels ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | Engendre-t-il des risques sanitaires ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | Est-il concerné par des risques sanitaires ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |

| Incidences potentielles | | Oui | Non | De quelle nature ? De quelle importance ? Appréciez sommairement l'impact potentiel | |
|-------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------|--|--|
| Nuisances | Engendre-t-il des déplacements/des trafics ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | |
| | Est-il source de bruit ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | |
| | Est-il concerné par des nuisances sonores ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | |
| | Engendre-t-il des odeurs ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | |
| | Est-il concerné par des nuisances olfactives ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | |
| | Engendre-t-il des vibrations ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | |
| | Est-il concerné par des vibrations ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | |
| | Engendre-t-il des émissions lumineuses ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | |
| | Est-il concerné par des émissions lumineuses ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | |
| | Émissions | Engendre-t-il des rejets dans l'air ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | | Engendre-t-il des rejets liquides ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | | Si oui, dans quel milieu ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |

| Incidences potentielles | | Oui | Non | De quelle nature ? De quelle importance ? Appréciez sommairement l'impact potentiel |
|------------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|--|
| Émissions | Engendre-t-il des effluents ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | Engendre-t-il la production de déchets non dangereux, inertes, dangereux ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Patrimoine/Cadre de vie/Population | Est-il susceptible de porter atteinte au patrimoine architectural, culturel, archéologique et paysager ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| | Engendre-t-il des modifications sur les activités humaines (agriculture, sylviculture, urbanisme, aménagements), notamment l'usage du sol ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |

6.2 Les incidences du projet identifiées au 6.1 sont-elles susceptibles d'être cumulées avec d'autres projets existants ou approuvés ?

Oui Non

Si oui, décrivez lesquelles :

6.3 Les incidences du projet identifiées au 6.1 sont-elles susceptibles d'avoir des effets de nature transfrontière ?

Oui Non

Si oui, décrivez lesquelles :

6.4 Description des principaux résultats disponibles issus des évaluations pertinentes des incidences sur l'environnement requises au titre d'autres législations applicables

6.5 Description, le cas échéant, des mesures et caractéristiques du projet susceptibles d'être retenues ou mises en œuvre pour éviter ou réduire les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine (en y incluant les scénarios alternatifs éventuellement étudiés) et permettant de s'assurer de l'absence d'impacts résiduels notables. Il convient de préciser et de détailler ces mesures (type de mesures, contenu, mise en œuvre, suivi, durée).

7 Auto-évaluation (facultatif)

① Au regard du formulaire rempli, estimez-vous qu'il est nécessaire que votre projet fasse l'objet d'une évaluation environnementale ou qu'il devrait en être dispensé ? Expliquez pourquoi.

8 Annexes

8.1 Annexes obligatoires

| Objet | | |
|-------|---|--------------------------|
| 1 | Document CERFA n°14734 intitulé « informations nominatives relatives au maître d'ouvrage ou pétitionnaire » - non publié. | <input type="checkbox"/> |
| 2 | Si le projet fait l'objet d'un examen au cas par cas dans le cadre du dispositif prévu aux I et II de l'article R.122-2-1 du code de l'environnement (clause filet), la décision administrative soumettant le projet au cas par cas. | <input type="checkbox"/> |
| 3 | Un plan de situation au 1/25 000 ou, à défaut, à une échelle comprise entre 1/16 000 et 1/64 000 (Il peut s'agir d'extraits cartographiques du document d'urbanisme s'il existe). | <input type="checkbox"/> |
| 4 | Au minimum, 2 photographies datées de la zone d'implantation, avec une localisation cartographique des prises de vue, l'une devant permettre de situer le projet dans l'environnement proche et l'autre de le situer dans le paysage lointain. | <input type="checkbox"/> |
| 5 | Un plan du projet ou, pour les travaux, ouvrages ou aménagements visés aux catégories 5° a), 6°a), b) et c), 7°a), 9°a), 10°, 11°a), b), 12°, 13°, 22°, 32°, 33°, 34°, 35°, 36, 37°, 38°, 43° a) et b) de l'annexe à l'article R. 122-2 du code de l'environnement un projet de tracé ou une enveloppe de tracé | <input type="checkbox"/> |
| 6 | Sauf pour les travaux, ouvrages ou aménagements visés aux 5° a), 6°a), b) et c), 7° a), 9°a), 10°, 11°a), b), 12°, 13°, 22°, 32°, 33°, 34°, 35°, 36, 37°, 38°, 43° a) et b) de l'annexe à l'article R. 122-2 du code de l'environnement : plan des abords du projet (100 mètres au minimum) pouvant prendre la forme de photos aériennes datées et complétées si nécessaire selon les évolutions récentes, à une échelle comprise entre 1/2 000 et 1/5 000. Ce plan devra préciser l'affectation des constructions et terrains avoisinants ainsi que les canaux, plans d'eau et cours d'eau | <input type="checkbox"/> |
| 7 | Si le projet est situé dans un site Natura 2000, un plan de situation détaillé du projet par rapport à ce site. Dans les autres cas, une carte permettant de localiser le projet par rapport aux sites Natura 2000 sur lesquels le projet est susceptible d'avoir des effets. | <input type="checkbox"/> |

8.2 Autres annexes volontairement transmises par le maître d'ouvrage ou pétitionnaire

 Veuillez compléter le tableau ci-joint en indiquant les annexes jointes au présent formulaire d'évaluation, ainsi que les parties auxquelles elles se rattachent.

| Objet | | |
|-------|--|--------------------------|
| 1 | | <input type="checkbox"/> |
| 2 | | <input type="checkbox"/> |
| 3 | | <input type="checkbox"/> |
| 4 | | <input type="checkbox"/> |
| 5 | | <input type="checkbox"/> |

9 Engagement et signature

Je certifie sur l'honneur avoir pris en compte les principaux résultats disponibles issus des évaluations pertinentes des incidences sur l'environnement requises au titre d'autres législations applicables

Je certifie sur l'honneur l'exactitude des renseignements ci-dessus

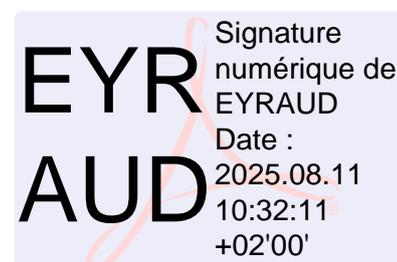
Nom

Prénom

Qualité du signataire

À

Fait le / /



Signature du (des) demandeur(s)



SIMACUR



Recherche/Exploration géothermique – Réseau de chaleur Antony (92)

Annexes à la demande d'examen au cas par cas au titre de l'article R.122-3 du Code de l'Environnement



Rapport n° 137943/Version A – Aout 2025

Projet suivi par Nicolas Frechin – 06.16.64.00.38 nicolas.frechin@anteagroup.fr



Fiche signalétique

Antony (92)

Annexes à la demande d'examen au cas par cas au titre de l'article R.122-3 du Code de l'Environnement

CLIENT

SITE

Simacur : Syndicat Mixte pour le chauffage urbain et le traitement des déchets ménagers Parcelles rue Léon Jouhaux

Mairie de Massy,
1 Avenue du Général de Gaulle, 91300 Massy Antony (92)
01 60 13 73 22

Nicolas Eyraud
06 75 40 23 29
mail : nicolas.eyraud@mairie-massy.fr

RAPPORT D'ANTEA GROUP

| | |
|---|--|
| Responsable du projet | Nicolas Frechin |
| Interlocuteur commercial | Nicolas Frechin |
| Implantation chargée du suivi du projet | Implantation d'Antony 01 57 63 14 00 secretariat.paris@anteagroup.fr |

| | |
|------------------------|----------------|
| Rapport n° | 137943 |
| Version n° | A |
| Votre commande et date | BPU n°SIM25-03 |
| Projet n° | IDFP250402 |

| | Nom | Fonction | Date | Signature |
|-------------|-----------------|----------------------|-----------|-----------|
| Rédaction | Côme ROBLIN | Ingénieur de projets | aout 2025 | |
| Approbation | Nicolas Frechin | Directeur de projets | aout 2025 | |

Siège social : ZAC du Moulin, 803 Boulevard Duhamel du Monceau, CS 30602, 45166 OLIVET CEDEX –
Antea France – SAS au capital de 4 700 000 € - SIREN 393 206 735 – Code APE 7112 B

Suivi des modifications

| Indice Version n | Date de révision | Nombre de pages | Nombre d'annexes | Objet des modifications |
|------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| A | 06/08/2025 | / | 9 | Version initiale |

Sommaire

| | |
|---|--|
| Annexe obligatoire n°1 : informations nominatives relatives au maître d'ouvrage ou pétitionnaire..... | |
| Annexe obligatoire n°2 : non concerné..... | |
| Annexe obligatoire n°3 : plan de situation..... | |
| Annexe obligatoire n°4 : photographies du projet..... | |
| Annexe obligatoire n°5 : plans du projet..... | |
| Annexe obligatoire n°6 : plans des abords du projet..... | |
| Annexe n°8 : Cartographies..... | |
| Annexe n°9 : Tracé du futur réseau..... | |

Table des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Implantation d'un appareil de forage pour la phase chantier – Machine et dotation type | 12 |
| Figure 2 : implantation du site en phase exploitation | 13 |
| Figure 3 : coupe schématique d'un appareil de forage | 14 |
| Figure 4 : photographies d'installation de chantier | 14 |
| Figure 5 - Localisation des zones Natura 2000 par rapport au projet | 16 |
| Figure 6 - Localisation des ZNIEFF par rapport au projet | 17 |
| Figure 7 : Arrêtés de protection de biotope à proximité du site d'Antony (source Géoportail). | 18 |
| Figure 8 : carte de bruit permettant de visualiser le niveau moyen annuel d'exposition au bruit. Source projet de plan de prévention du bruit dans l'environnement (2022-2026). | 19 |
| Figure 9 : Plan de prévention du bruit (PPB) – source : géoportail | 20 |
| Figure 10 : Protection au titre des abords de monuments historiques – source : Géoportail | 20 |
| Figure 11 : Installations industrielles – source : Géorisques | 21 |
| Figure 12 : Sites et sols pollués –(en rouge Basol et en Bleu Basias) – source : Géorisques | 22 |
| Figure 13: zones à risques - source Géorisques. | 22 |
| Figure 14 : Cartographie ARS des captages d'eau potable et périmètres de protection (12/02/2024) | 23 |
| Figure 15: zone de répartition des eaux. Le projet se situe sur la ZRE de l'Albien en bleu (aquifère non exploité sur ce projet). | 24 |
| Figure 16 : tracé du futur réseau d'Antony comme identifié au stade d'étude de faisabilité par l'entreprise Naldeo. | 25 |

Annexe obligatoire n°1 : informations nominatives relatives au maître d'ouvrage ou pétitionnaire

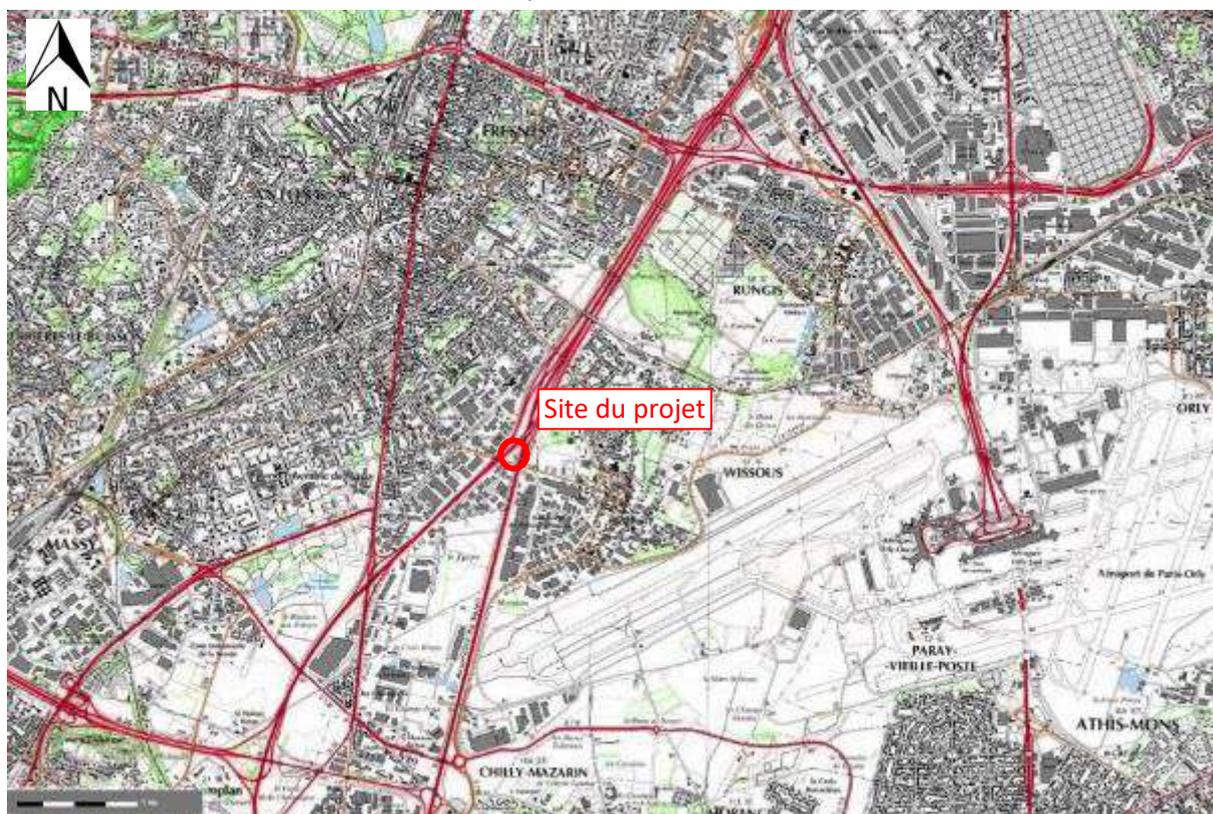
Annexe obligatoire n°2 : non concerné

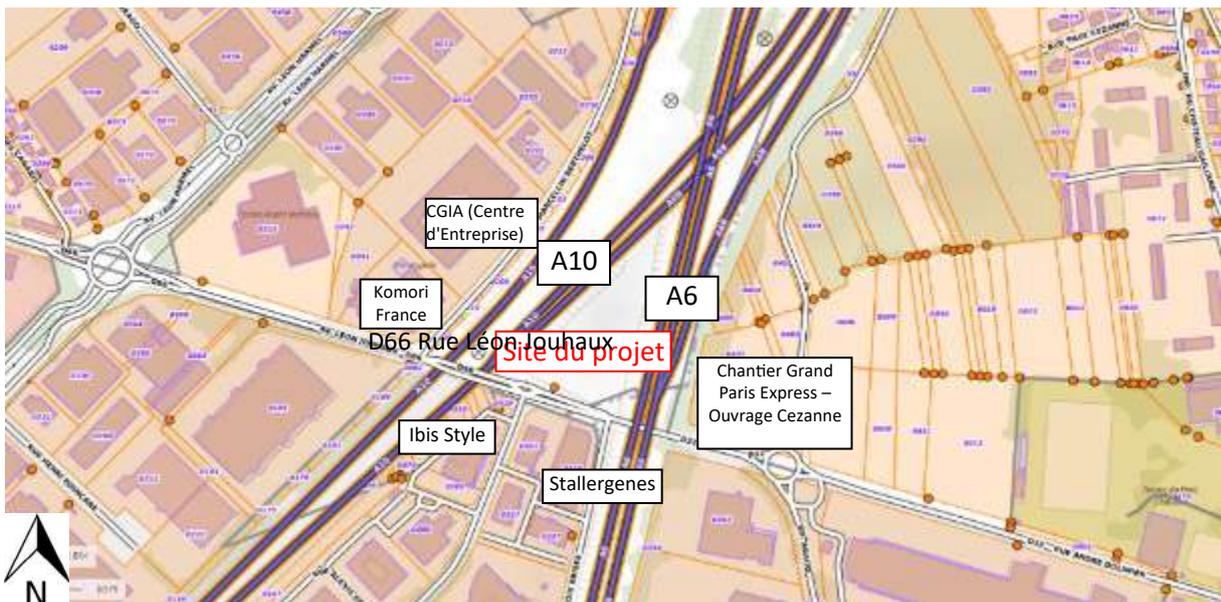
Annexe obligatoire n°3 : plan de situation

1. Le site du projet se situe sur la commune d'Antony dans le département des Hauts-de-Seine en région île de France (cf. figures ci-dessous) entre le secteur d'Antonypole à l'ouest et du Parc Silic au sud et à l'est, sur la commune de Wissous, de la zone industrielle de Villemilan. Le site se situe à 89 m_{NGF}. Le terrain est immédiatement encadré par l'autoroute A10 à l'ouest et A6 à l'est. Au sud la voie d'accès se fait par la départementale D66 (ou avenue Léon Jouhaux).

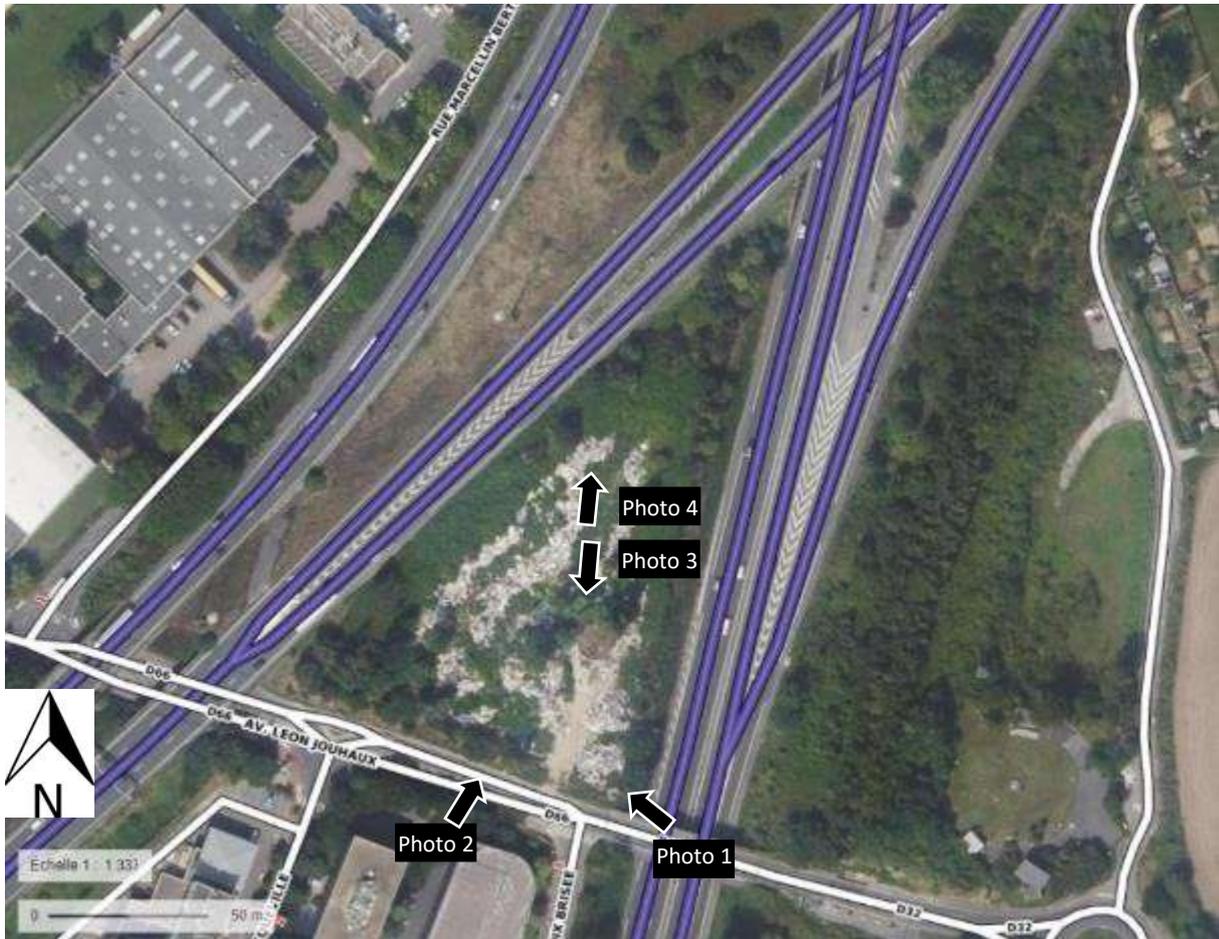
Site d'implantation :

- Avenue Léon Jouhaux 92160 Antony





Annexe obligatoire n°4 : photographies du projet



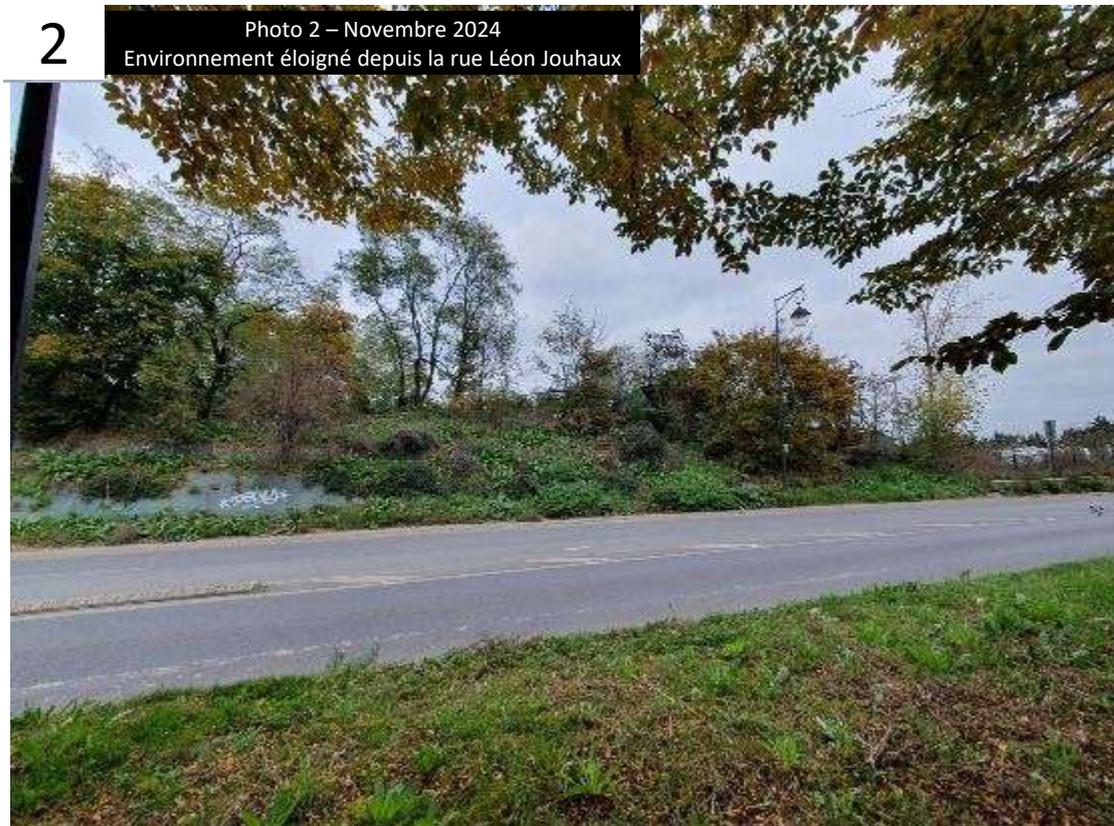
1

Photo 1 – Novembre 2024
Environnement éloigné depuis la rue Léon Jouhaux



2

Photo 2 – Novembre 2024
Environnement éloigné depuis la rue Léon Jouhaux



3

Photo 3 – Novembre 2024
Environnement proche, vue vers le sud



4

Photo 3 – Novembre 2024
Environnement proche, vue vers le nord



Annexe obligatoire n°5 : plans du projet

Esquisse prévisionnelle des travaux de forage (à date de Mars 2025) :



Figure 1 : Implantation d'un appareil de forage pour la phase chantier – Machine et dotation type

Implantation du site en phase exploitation ci-dessous

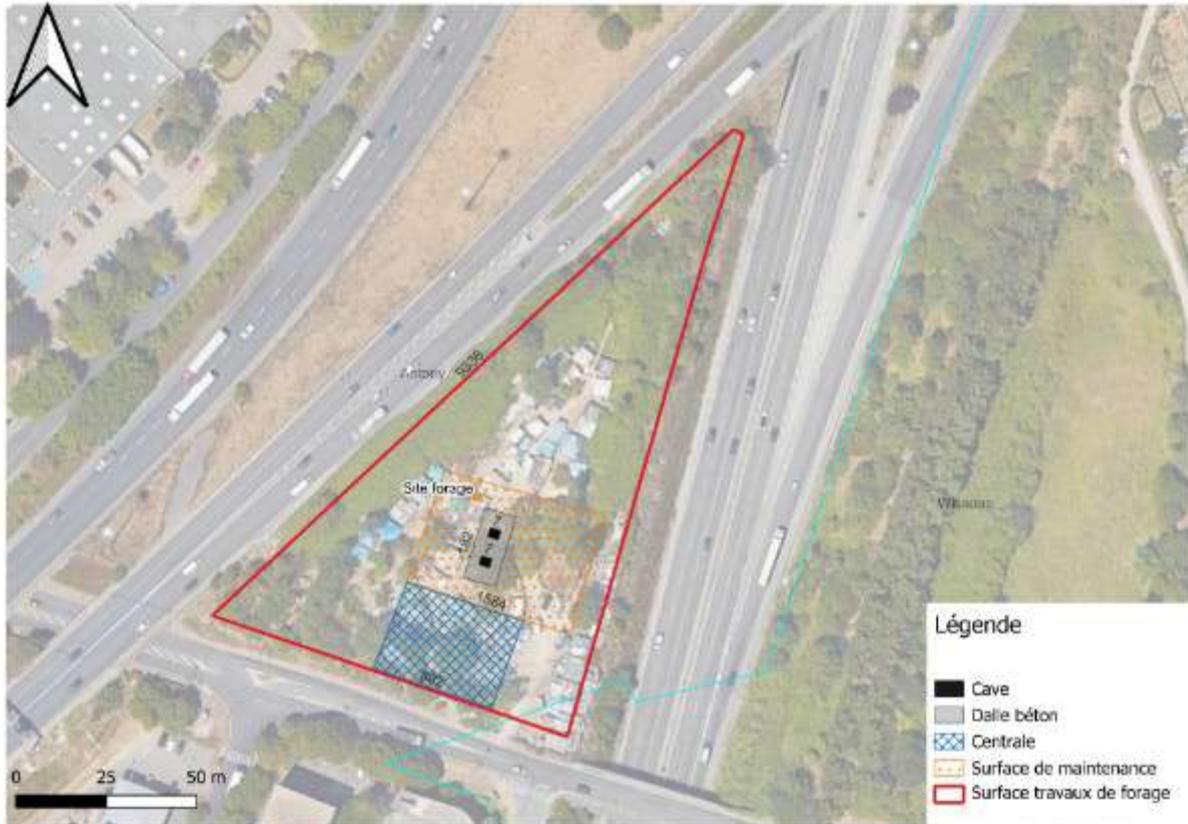


Figure 2 : implantation du site en phase exploitation

En phase chantier un appareil de forage ou "rig" sera positionné sur la parcelle. La figure ci-dessous décrit la fonction d'un tel appareil.

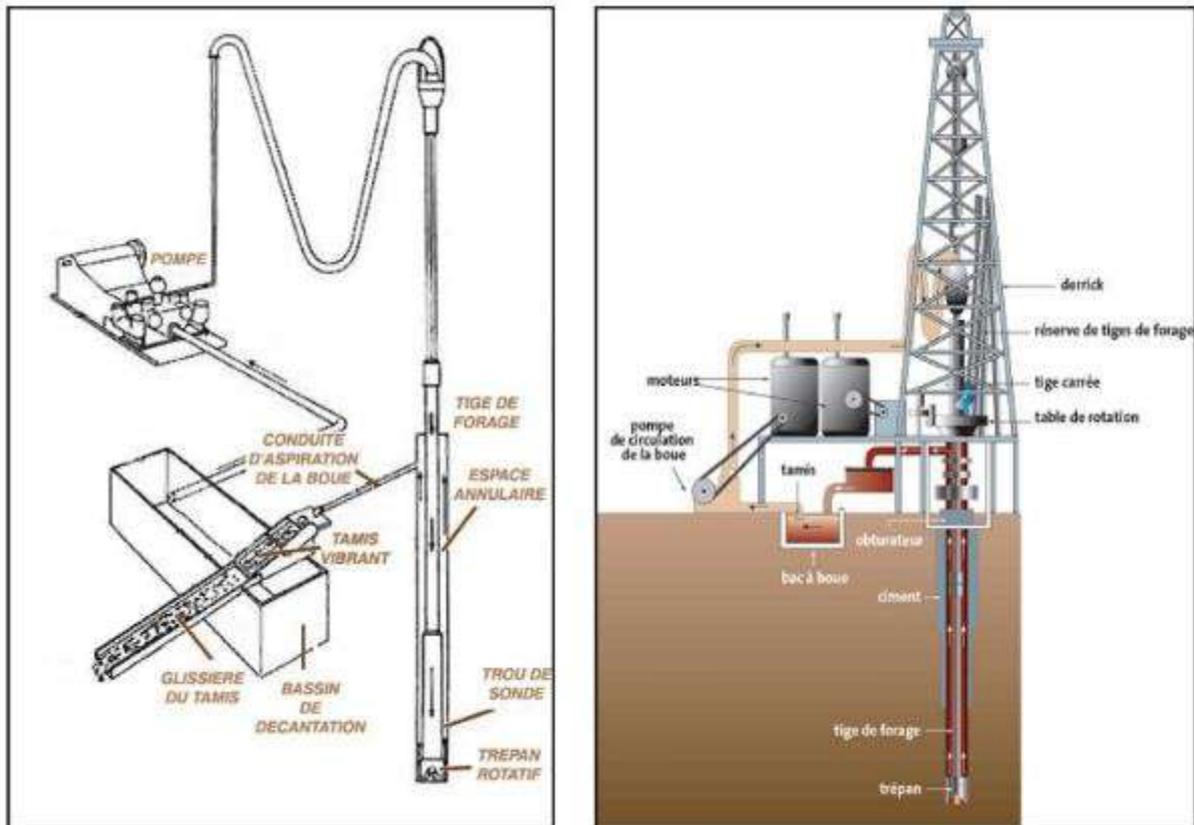
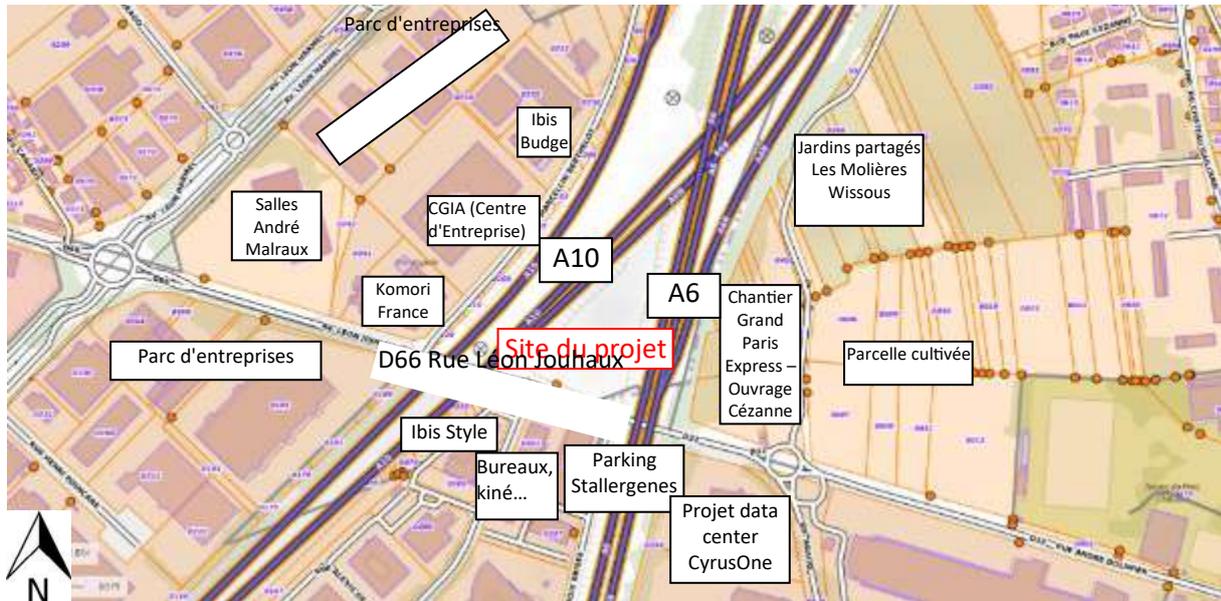


Figure 3 : coupe schématique d'un appareil de forage



Figure 4 : photographies d'installation de chantier

Annexe obligatoire n°6 : plans des abords du projet



Annexe obligatoire n°7 : localisation du projet par rapport aux sites Natura 2000 et au ZNIEFF

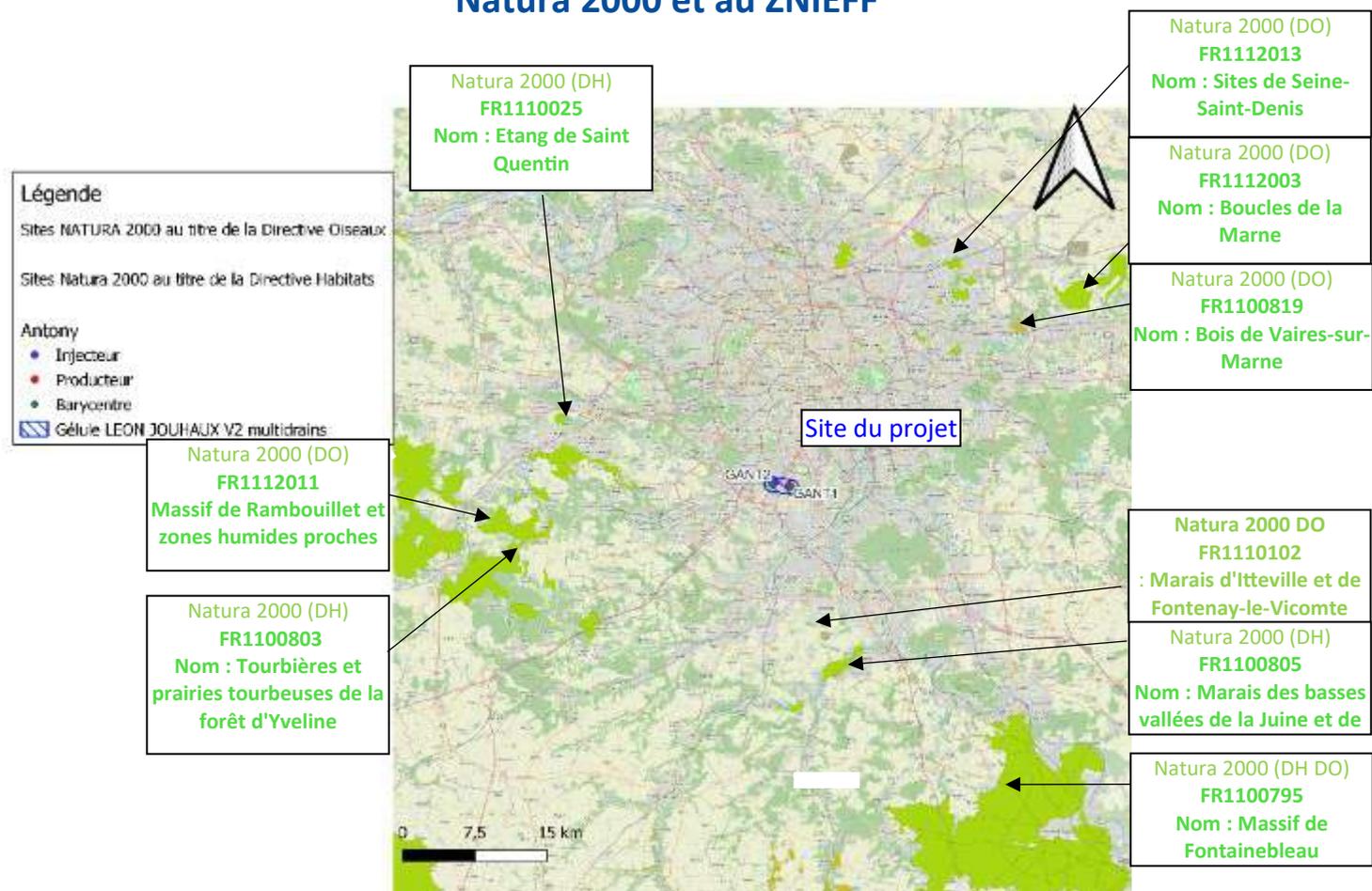


Figure 5 - Localisation des zones Natura 2000 par rapport au projet

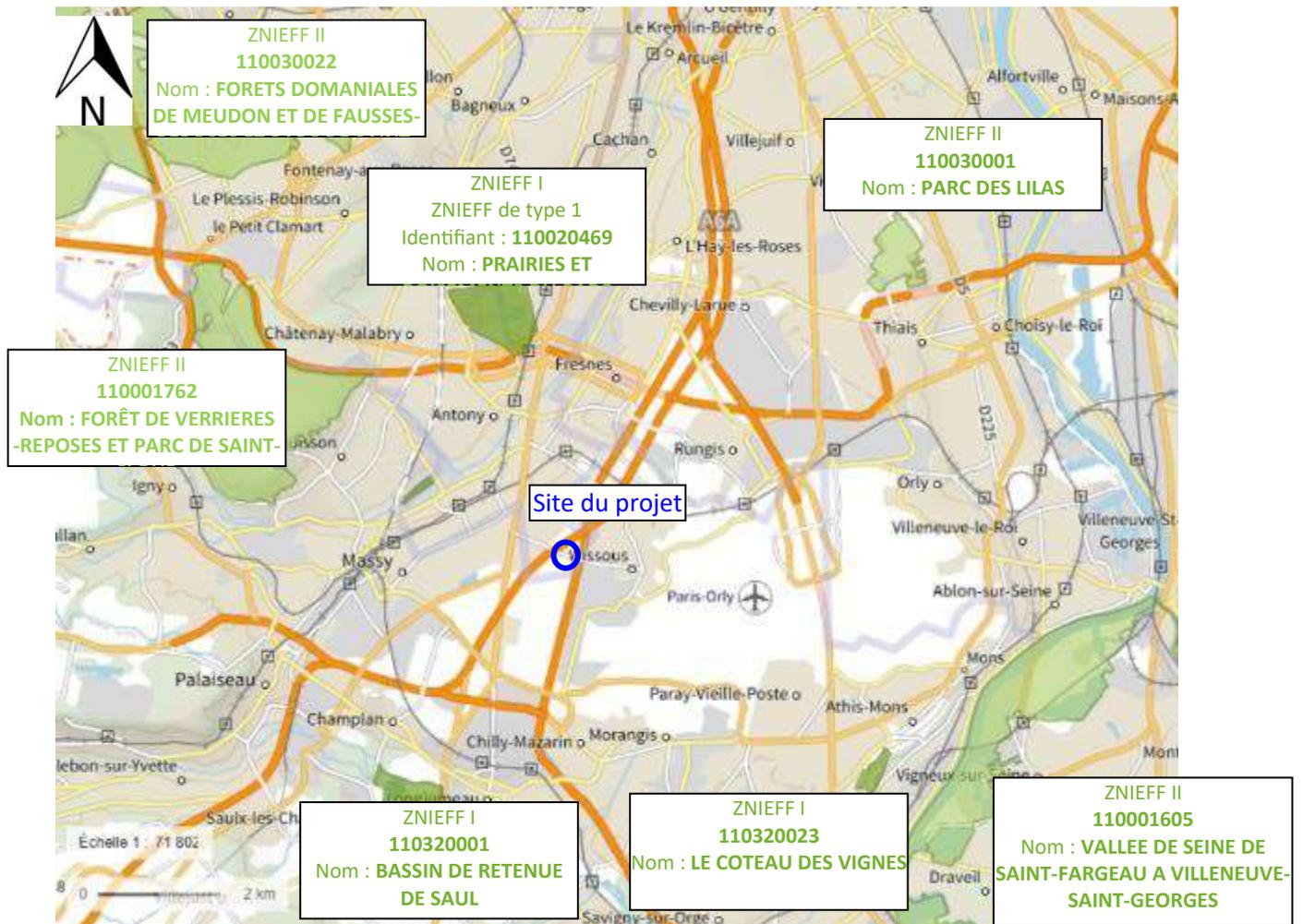


Figure 6 - Localisation des ZNIEFF par rapport au projet

Annexe n°8 : Cartographies

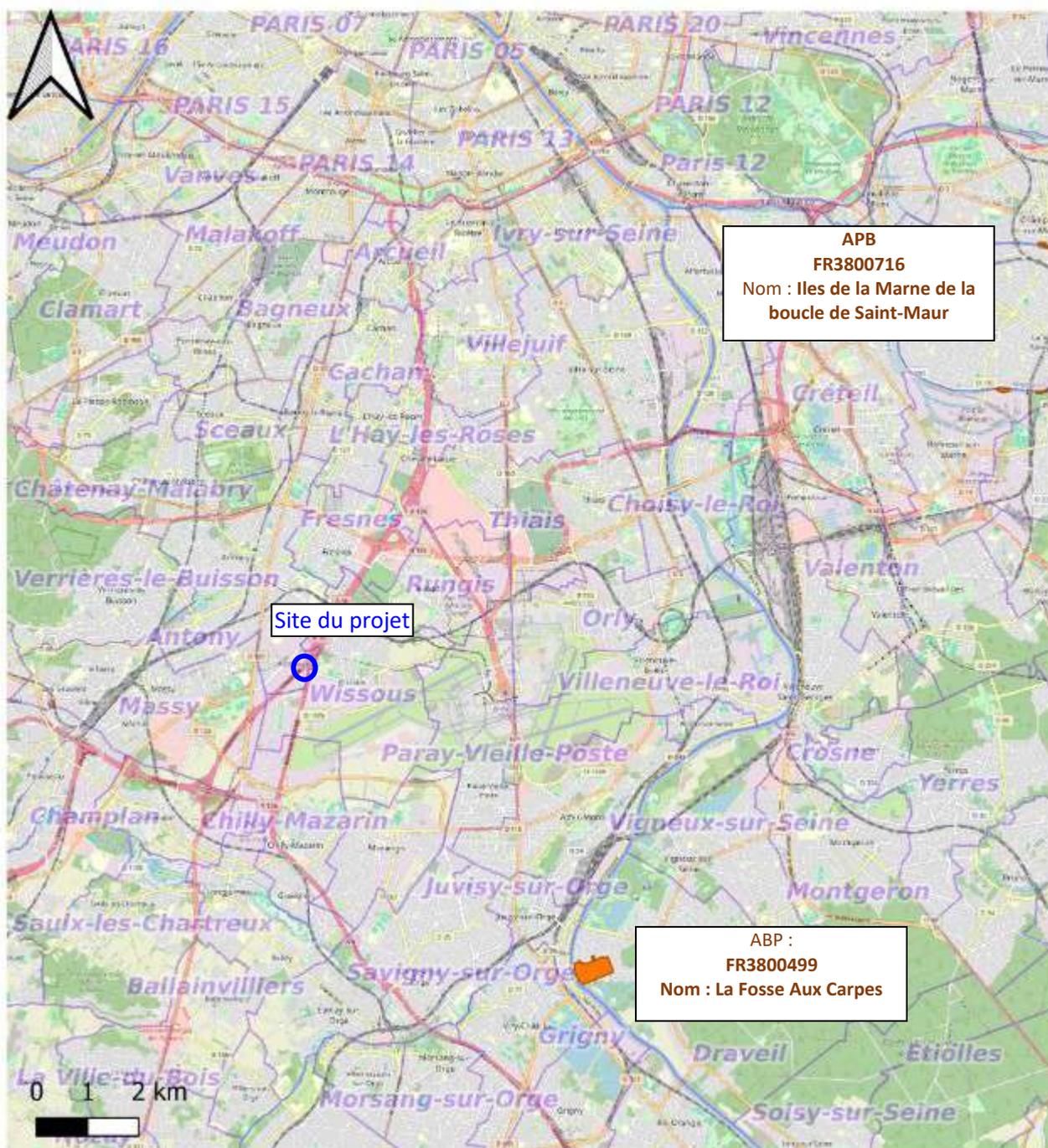


Figure 7 : Arrêtés de protection de biotope à proximité du site d'Antony (source Géoportail).

*

DÉPARTEMENT DES HAUTS-DE-SEINE
Carte de type a : Zones exposées au bruit
des infrastructures routières selon
l'indicateur de niveau sonore Lden

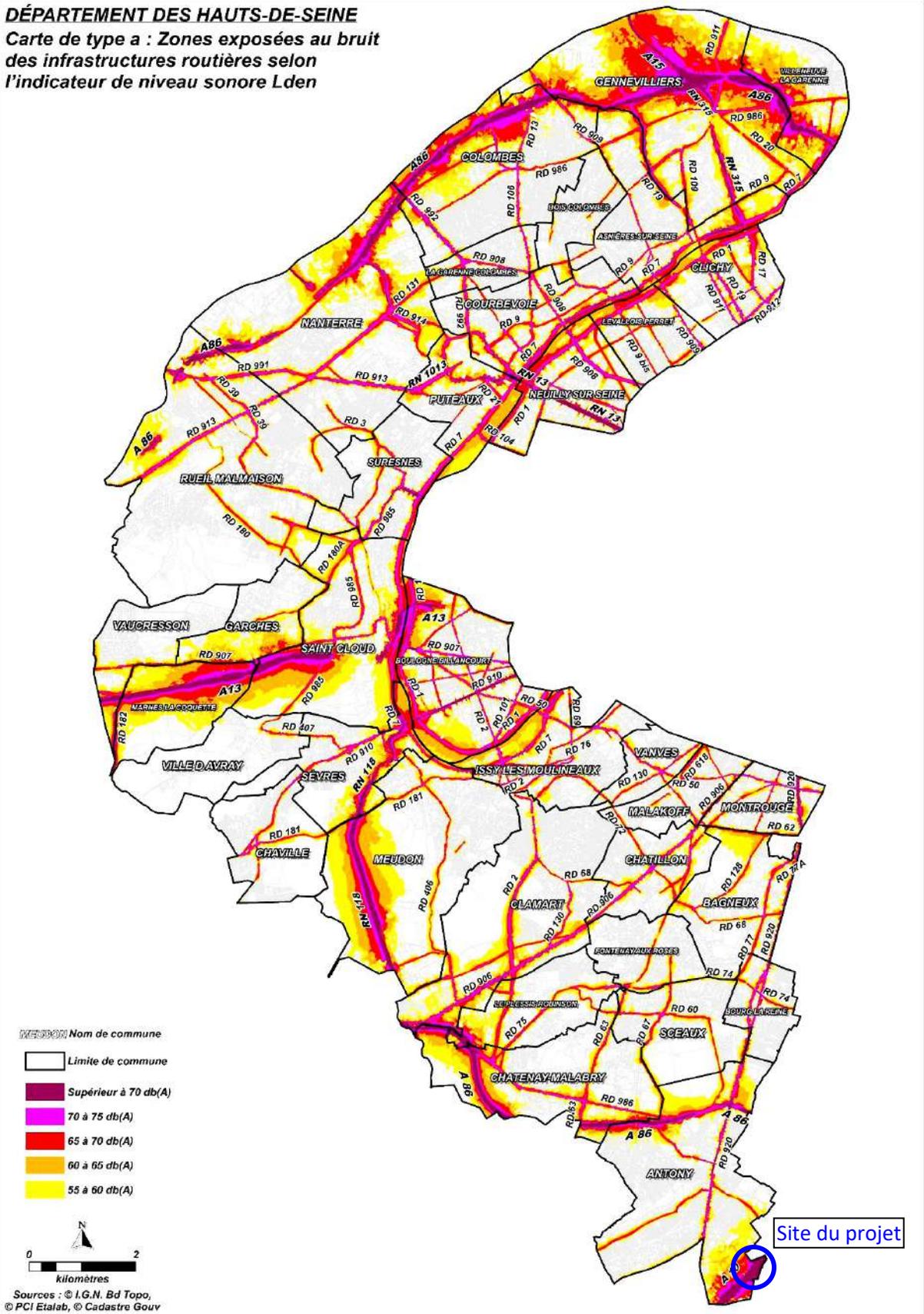


Figure 8 : carte de bruit permettant de visualiser le niveau moyen annuel d'exposition au bruit. Source projet de plan de prévention du bruit dans l'environnement (2022-2026).

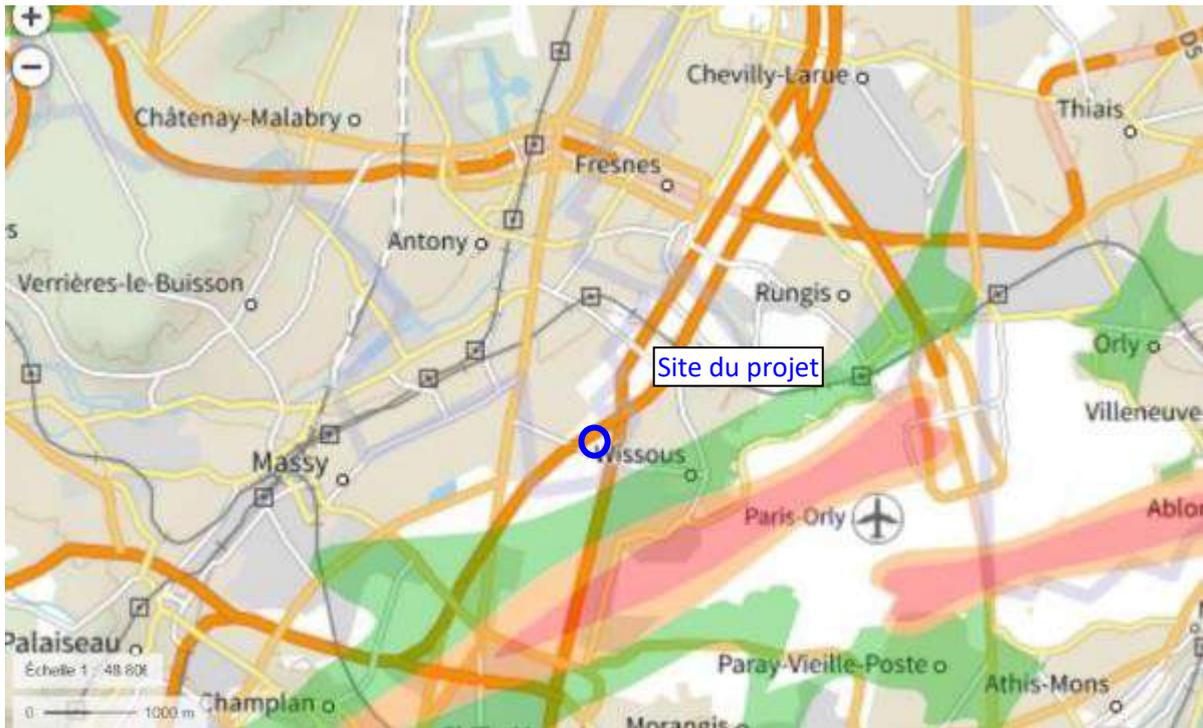


Figure 9 : Plan de prévention du bruit (PPB) – source : géoportail

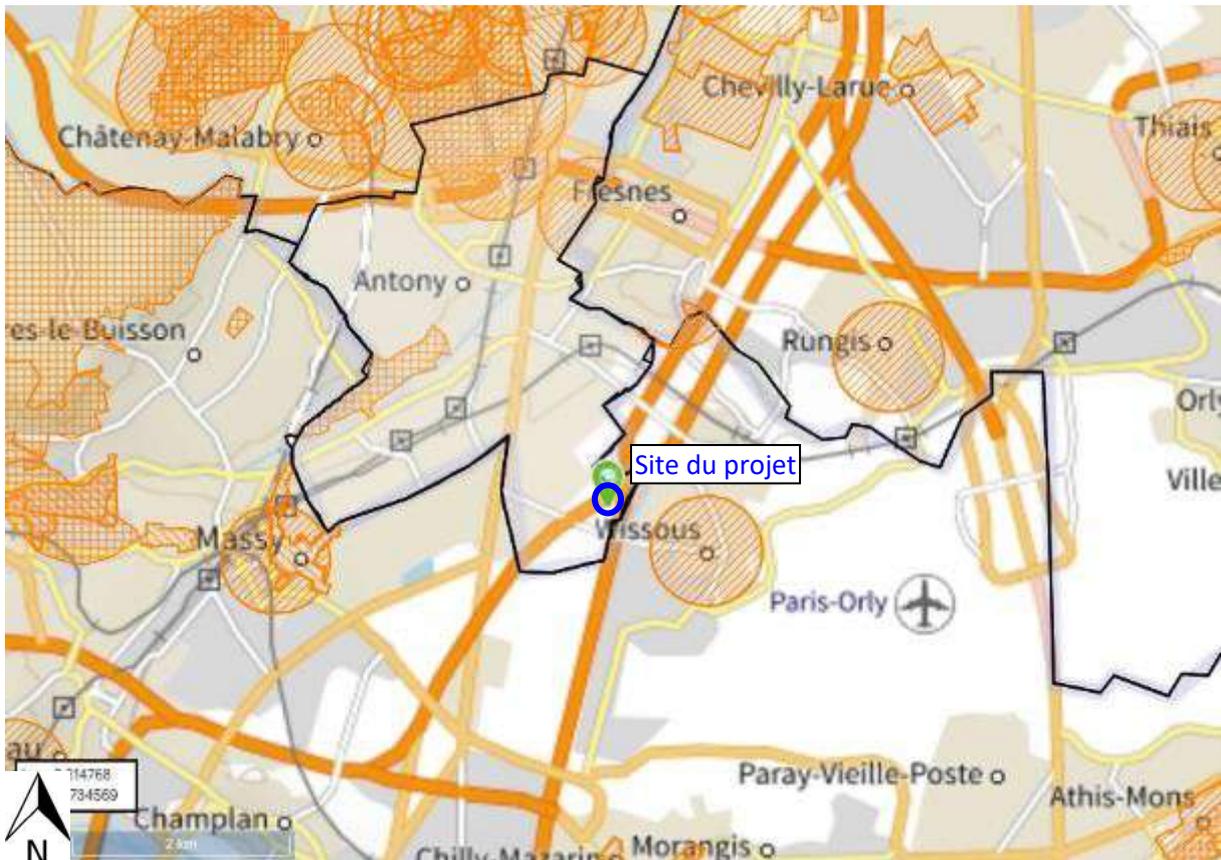


Figure 10 : Protection au titre des abords de monuments historiques – source : Géoportail

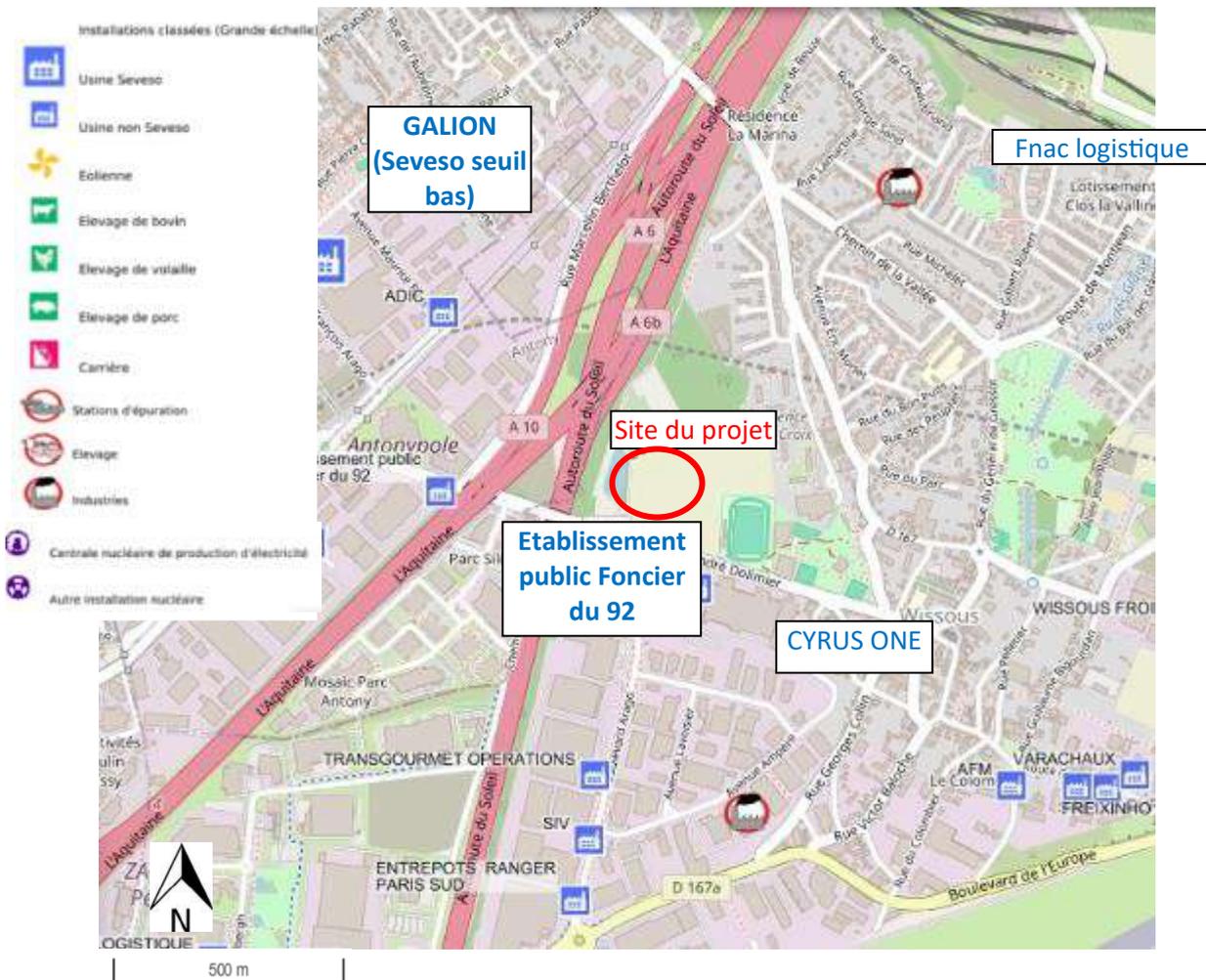


Figure 11 : Installations industrielles – source : Géorisques

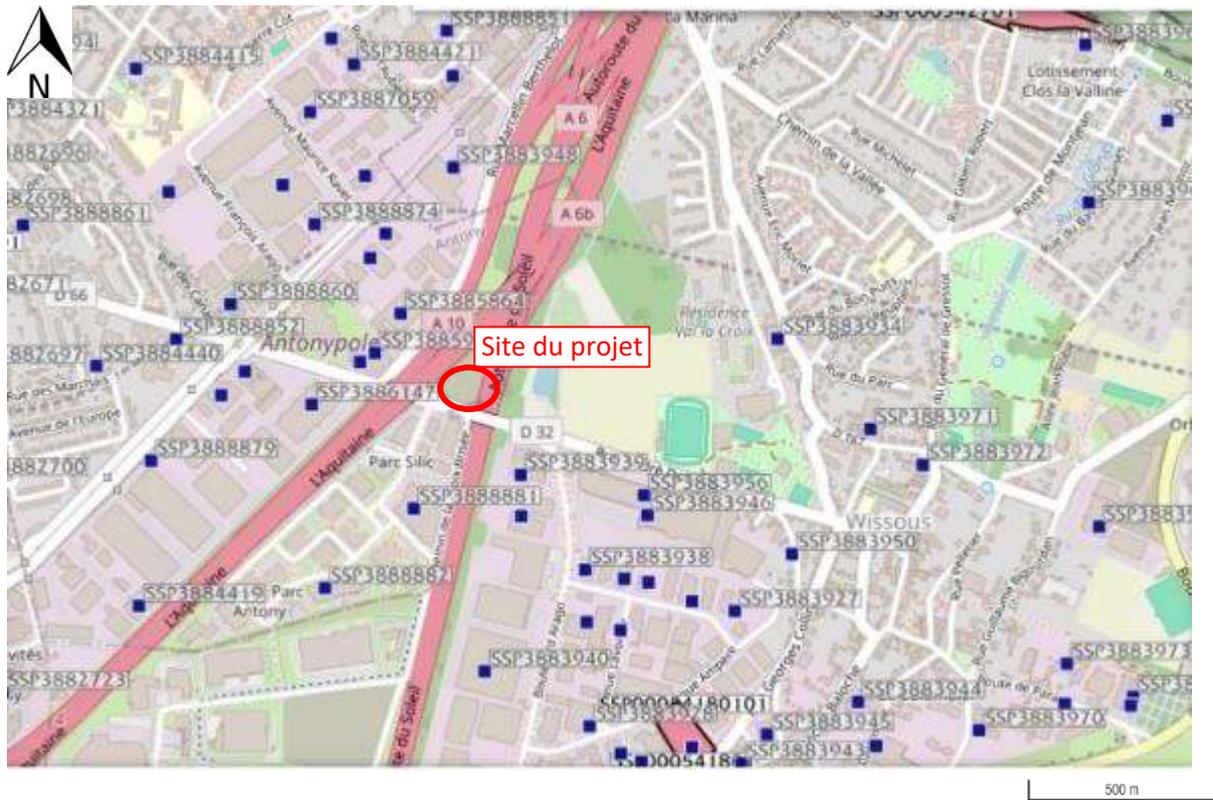


Figure 12 : Sites et sols pollués –(en rouge Basol et en Bleu Basias) – source : Géorisques

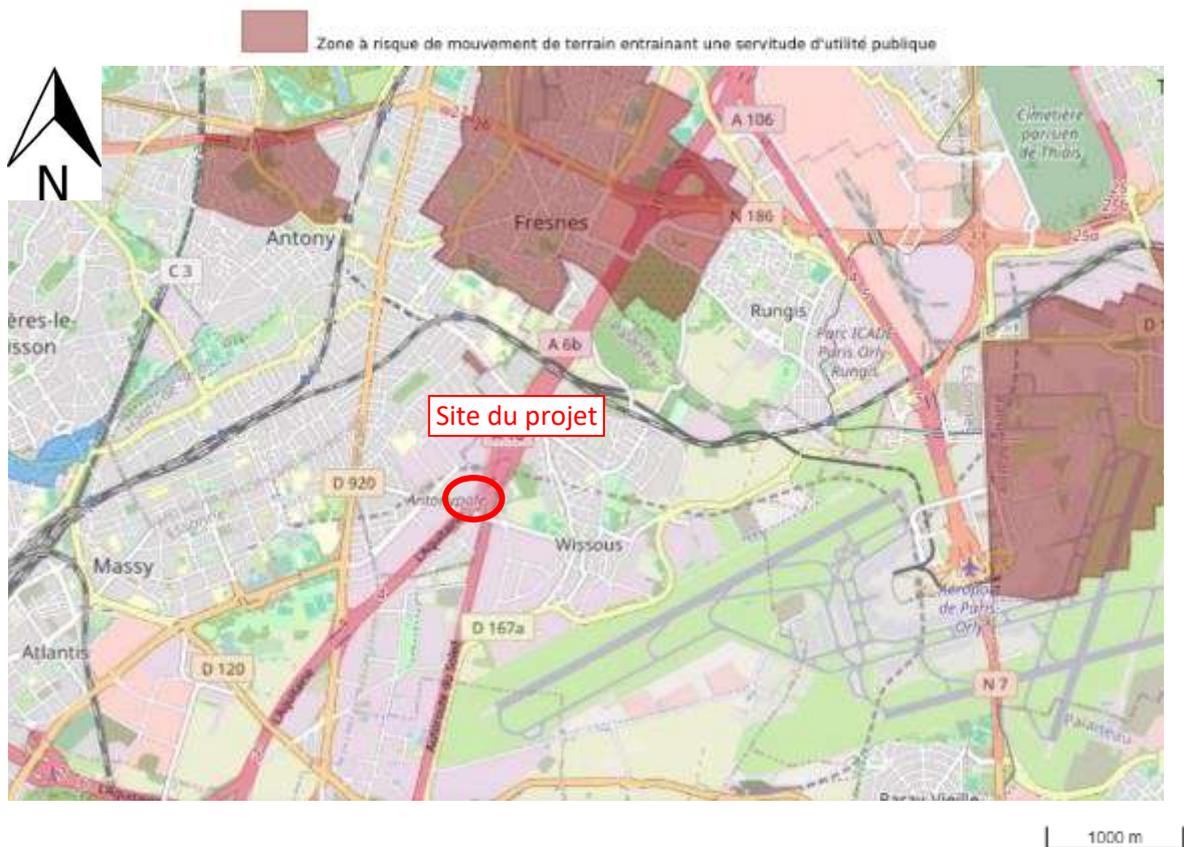


Figure 13: zones à risques - source Géorisques.

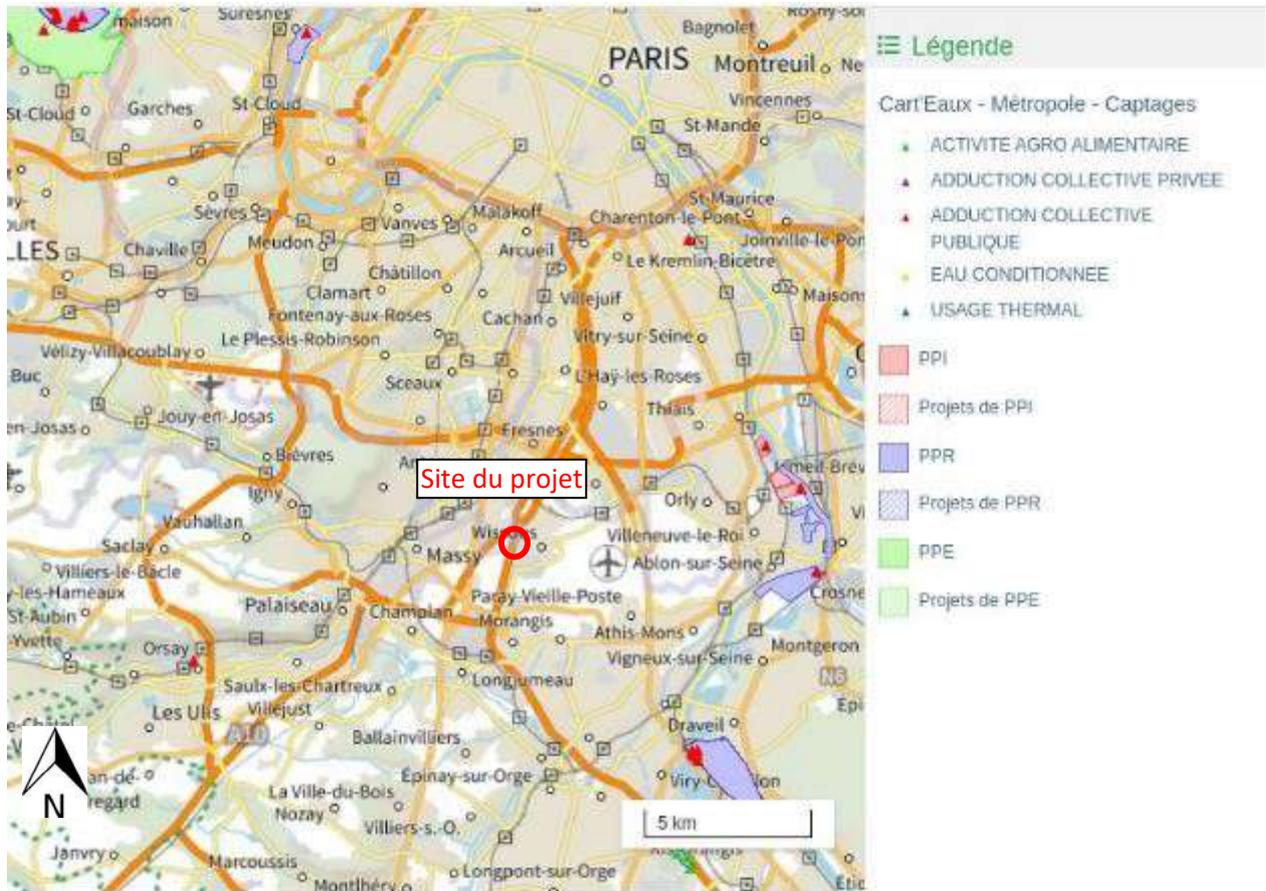


Figure 14 : Cartographie ARS des captages d'eau potable et périmètres de protection (12/02/2024)

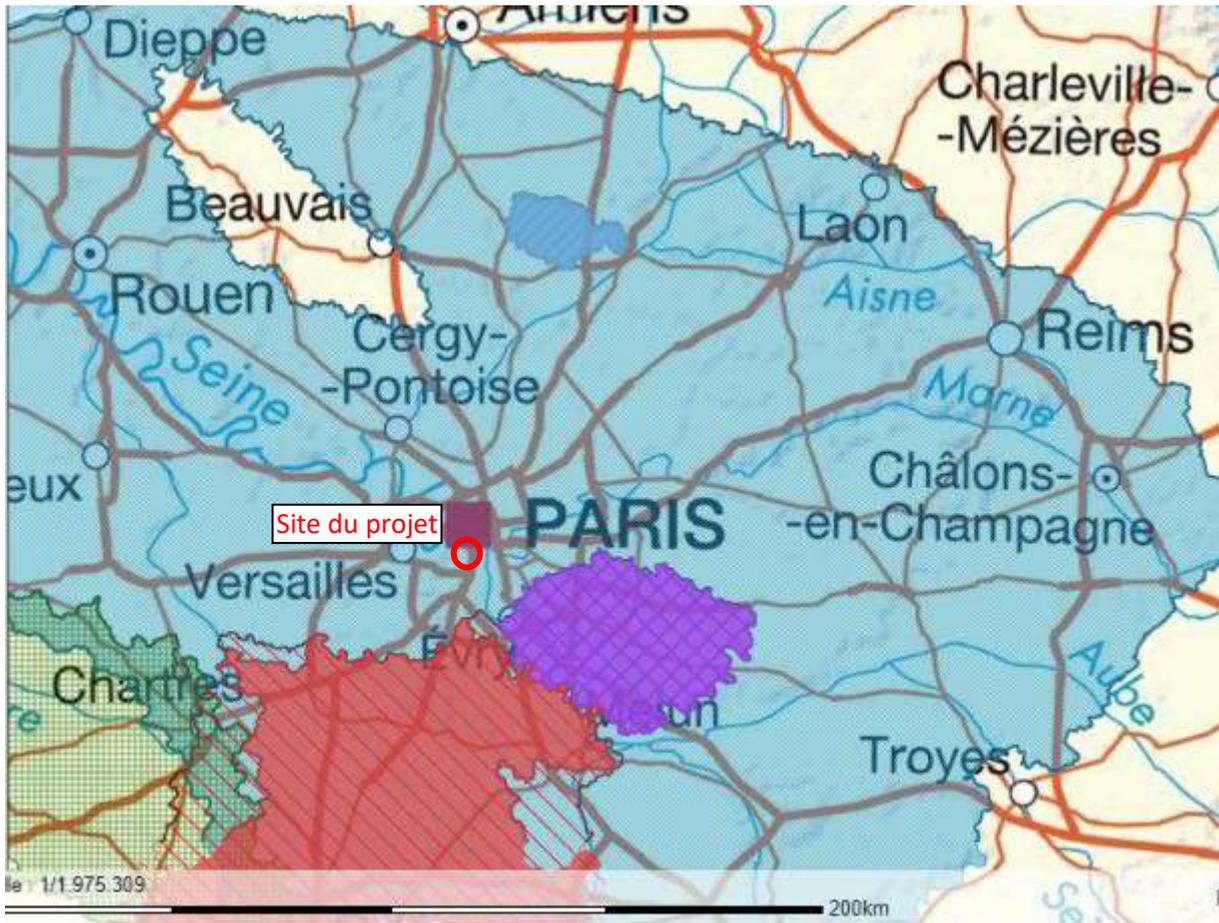


Figure 15: zone de répartition des eaux. Le projet se situe sur la ZRE de l'Albien en bleu (aquifère non exploité sur ce projet).

Annexe n°9 : Tracé du futur réseau



Figure 16 : tracé du futur réseau d'Antony comme identifié au stade d'étude de faisabilité par l'entreprise Naldeo.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

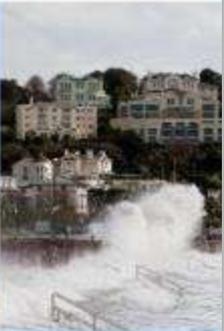
Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/fr/annexes>

Le changement climatique n'implique pas seulement un monde plus chaud, il annonce un monde qui change.



| | | | | |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| Inondations | Raréfaction de la ressource en eau | Sécheresse des sols | Pollutions | Trait de côte |

Notre métier, vous accompagner pour gérer ces enjeux.



| | | | | |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| Infrastructures résilientes | Industrie responsable | Transition énergétique | Économie circulaire | Biodiversité |

Siège social : ZAC du Moulin, 803 Boulevard Duhamel du Monceau, CS 30602, 45166 OLIVET CEDEX –
Antea France – SAS au capital de 4 700 000 € - SIREN 393 206 735 – Code APE 7112 B

Références :



Portées
communiquées
sur demande

RAPPORT D'ETUDES

Etude de faisabilité n° C 2301843 du 26/03/2025



SIMACUR

Etude de la faisabilité pour la création d'un réseau de chaleur sur la ville d'Antony (92)

| Historique des révisions | | | | |
|--------------------------|------------|---|--------------|---------------|
| VERSION | DATE | COMMENTAIRES | RÉDIGÉ PAR : | VÉRIFIÉ PAR : |
| 3 | 28/05/2025 | Transmission version définitive corrigée | CP | MB |
| 2 | 29/04/2025 | Transmission version définitive avec prise en compte remarques client | CP | MB |
| 1 | 26/03/2025 | Transmission V1 document | CP | MB |

Maître d'ouvrage : SIMACUR

Mission : Etude de la faisabilité pour la création d'un réseau de chaleur sur la ville d'Antony (92)

Offre n° : C 2301843

En date du : 26/03/2025

Contact : Marc BRANCHU, Directeur de Projets

Adresse : Naldeo Stratégies Publiques
2 boulevard Vauban,
FR-78182 SAINT QUENTIN EN YVELINES CEDEX
Tél. : 01 30 60 61 05
E-mail : marc.branchu@naldeo.com

Camille PIEBAC, Cheffe de Projets

Naldeo Stratégies Publiques
226 Boulevard Voltaire,
75011 PARIS
Tél. : 06 64 14 77 14
Mail : camille.piebac@naldeo.com

Table des matières

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | CONTEXTE DE L'ÉTUDE | 5 |
| 2 | DÉTERMINATION DES BESOINS EN CHALEUR | 6 |
| 2.1 | Méthodologie de recueil des besoins en chaleur..... | 6 |
| 2.2 | Méthodologie pour l'estimation des besoins sur le projet urbain Antonypole..... | 7 |
| 2.3 | Prospects étudiés et caractéristiques..... | 9 |
| 2.4 | Cartographie des besoins..... | 11 |
| 2.5 | Rigueur climatique..... | 12 |
| 2.6 | Évolution des consommations et des puissances..... | 12 |
| 2.7 | Détermination des puissances..... | 13 |
| 3 | SOURCES DE CHALEUR RENOUVELABLE ET DE RÉCUPÉRATION IDENTIFIÉES | 14 |
| 3.1 | Géothermie profonde au DOGGER..... | 15 |
| 3.1.1 | Localisation de la centrale géothermique..... | 15 |
| 3.1.2 | Implantation envisagée lors de la phase chantier (forage)..... | 16 |
| 3.1.3 | Implantation envisagée en phase exploitation..... | 17 |
| 3.1.4 | Positionnement de la gélule réglementaire..... | 19 |
| 3.1.5 | Principales caractéristiques de la ressource..... | 19 |
| 3.1.6 | Résultats des simulations hydrauliques de l'étude sous-sol..... | 20 |
| 3.2 | Import de chaleur depuis le réseau d'ENORIS..... | 21 |
| 4 | DÉFINITION DES SCÉNARIOS D'ÉTUDE | 23 |
| 5 | ETUDE ÉNERGÉTIQUE ET TECHNIQUE DES SCÉNARIOS | 25 |
| 5.1 | Scenario de BASE..... | 25 |
| 5.1.1 | Dimensionnement des moyens de production et mix énergétique..... | 25 |
| 5.1.2 | Implantation de la chaufferie..... | 31 |
| 5.1.3 | Dimensionnement du réseau..... | 34 |
| 5.1.4 | Analyse des points durs..... | 37 |
| 5.2 | Scenario 1..... | 38 |
| 5.2.1 | Dimensionnement des moyens de production et mix énergétique..... | 38 |
| 5.2.2 | Implantation de la chaufferie..... | 44 |
| 5.2.3 | Dimensionnement du réseau..... | 46 |
| 5.2.4 | Analyse des points durs..... | 48 |
| 5.3 | Scenario 2..... | 49 |
| 5.3.1 | Dimensionnement des moyens de production et mix énergétique..... | 49 |
| 5.3.2 | Implantation de la chaufferie..... | 55 |
| 5.3.3 | Dimensionnement du réseau..... | 57 |
| 5.3.4 | Analyse des points durs..... | 59 |
| 5.4 | Synthèse de l'analyse technique des scenarios..... | 60 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 6 | BILAN ENVIRONNEMENTAL DES SCENARIOS | 61 |
| 6.1 | Valeurs Limites d'Émission | 61 |
| 6.2 | Bilan carbone | 61 |
| 7 | ANALYSE ÉCONOMIQUE DES SCÉNARIOS | 62 |
| 7.1 | Investissements | 62 |
| 7.2 | Aides au financement..... | 65 |
| 7.2.1 | Fonds chaleur ADEME..... | 65 |
| 7.2.1 | CEE..... | 66 |
| 7.2.2 | Participation aménageur sur Antonympole | 66 |
| 7.3 | Compte d'exploitation prévisionnel | 67 |
| 7.4 | Prix de la chaleur | 68 |
| 7.4.1 | Droits de raccordement..... | 68 |
| 7.4.2 | Structure tarifaire..... | 68 |
| 7.4.3 | Compétitivité du tarif par rapport à la moyenne nationale des réseaux de chaleur et sensibilité au prix des énergies | 70 |
| 7.4.1 | Sensibilité du tarif à plusieurs paramètres | 71 |
| 7.4.2 | Comparaison avec d'autres solutions de chauffage | 73 |
| 7.5 | Synthèse de l'analyse économique des scénarios | 75 |
| 8 | MODES DE CONTRACTUALISATION | 76 |
| 8.1 | Principaux enjeux pour le choix du mode de gestion | 76 |
| 8.2 | Synthèse des modes de gestion existants et compatibilité avec le projet de réseau de chaleur sur Antony | 77 |
| 8.3 | Choix du mode de gestion | 78 |
| 9 | PLANNING | 79 |
| 9.1 | Procédure dossier ICPE..... | 79 |
| 9.2 | Procédure de dépôt de demande de permis minier..... | 79 |
| 9.3 | Phasage du développement | 80 |
| 9.4 | Planning prévisionnel | 82 |
| 9.4.1 | Planning type pour la mise en place d'une délégation de service public | 82 |
| 9.4.2 | Planning prévisionnel de réalisation | 83 |
| 10 | SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE | 84 |
| 11 | ANNEXES | 85 |
| 11.1 | Annexe 1 - Liste des prospectus étudiés et besoins en chaleur associés | 85 |
| 11.2 | Annexe 2 – Etude de faisabilité ressource géothermie au Dogger (ANTEA) | 85 |
| 11.3 | Annexe 3 – Analyse des points durs..... | 85 |
| 11.4 | Annexe 4 – CEP détaillés | 85 |

1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

La SIMACUR est compétent pour la création, l'aménagement, l'entretien et la gestion des réseaux de chaleur sur les communes adhérentes au syndicat au titre de cette compétence (Massy et Antony).

Le syndicat est actuellement **propriétaire d'un réseau de chaleur situé sur la ville de Massy** et une partie de la ville d'Antony, et alimenté par l'UVE présente sur Massy et par des chaudières à lit fluidisé permettant d'incinérer du bois B (bois déchet). Ce réseau dessert un petit périmètre au Sud Ouest de la ville d'Antony. Ce réseau ainsi que les installations de production (UVE comprise) ont été confiés à ENORIS, filiale d'ENGIE, via une délégation de service public.

Une **étude précédente, portant plus particulièrement sur la zone d'aménagement Antonympole, a démontré l'intérêt de la création d'un réseau de chaleur alimenté par une géothermie profonde au Dogger** qui couvrirait non seulement le nouveau quartier d'Antonympole, mais également le reste de la commune d'Antony, et éventuellement des communes voisines.

La cartographie ci-dessous présente le positionnement géographique des réseaux de chaleur existants sur le périmètre ainsi que ceux en projet.

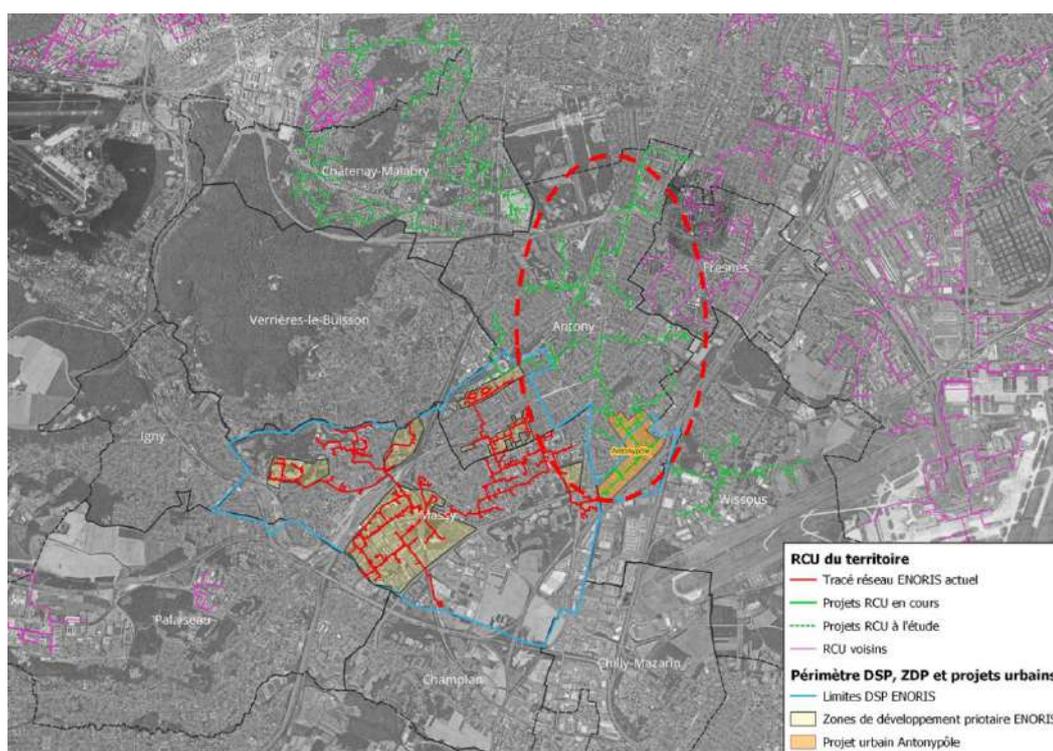


Figure 0 – Contexte local de l'étude de faisabilité

L'objet de la présente étude de faisabilité est d'étudier différents scénarios de développement possibles pour un nouveau réseau de chaleur alimenté par une géothermie profonde au Dogger sur la ville d'Antony et de confirmer la faisabilité technico-économique préfigurée lors de l'étude d'opportunité réalisée sur le quartier Antonympole.

Le périmètre d'étude pourra également intégrer l'alimentation de secteurs proches de la ville d'Antony, en particulier sur les villes de Verrières-le-Buisson et Bourg-la-Reine.

2 DÉTERMINATION DES BESOINS EN CHALEUR

2.1 Méthodologie de recueil des besoins en chaleur

La détermination des besoins énergétiques commence par une étape d'identification des bâtiments raccordables à un réseau de chaleur : les bâtiments publics, les bâtiments de logements collectifs, les gros consommateurs tels que les établissements de santé et certaines industries.

Afin d'obtenir des données fiables des besoins, plusieurs méthodes ont été utilisées :

- Récupération de la **base de données de l'étude d'opportunité**,
- **Utilisation des données publiques de consommations de gaz mises à disposition par GrDF (année 2021) et recouplement avec d'autres données disponibles (annuaire des copropriétés, etc.)** pour les prospects dont le contact n'a pas pu être obtenu au moment de l'étude des besoins :
 - Copropriétés,
 - Equipements de santé privés (EHPAD, Cliniques) hors hôpital privé d'Antony,
 - Enseignement privé,
 - Département 92 (4 Collèges),
 - Région IDF (2 Lycées),
 - Commerces et Bureaux.
- **Envoi d'un questionnaire** aux prospects dont les coordonnées étaient disponibles :
 - Bailleurs sociaux,
 - Service bâtiments communaux de la ville d'Antony,
- **Envoi d'un questionnaire et proposition d'organisation d'une ou plusieurs réunions d'échange sur le projet** de RCU pour les prospects les plus significatifs :
 - Hôpital privé d'Antony,
 - Principal bailleur présent sur la commune : Hauts de Bièvre Habitat,
 - Institut privé d'enseignement Ste Marie,
 - Equipe responsable de l'aménagement du projet Antonympole,
 - Ville de Bourg-la-Reine.

Les **informations collectées par les questionnaires** sont les suivantes (pour chaque adresse de bâtiment) :

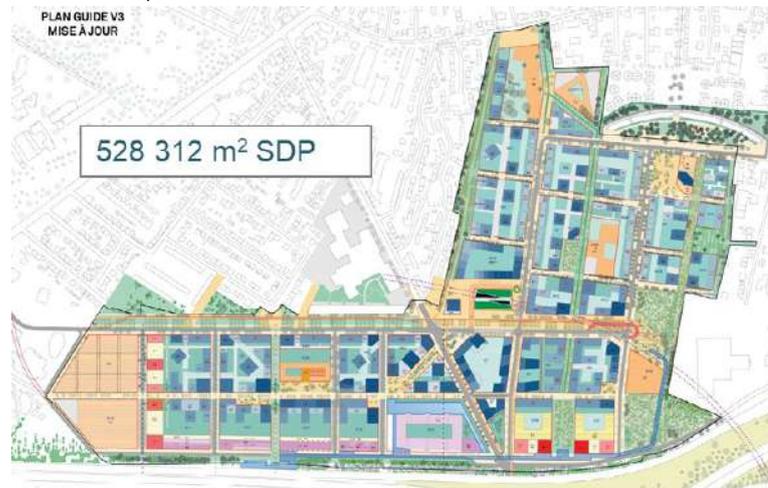
- Le nombre de bâtiments,
- Le nombre de logements chauffés et/ou la surface chauffée,
- L'année de construction et éventuellement l'année de réhabilitation,
- L'année des travaux de réhabilitation à venir (si pertinent),
- Le type d'énergie utilisé pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire,
- Les caractéristiques des moyens de production (type et âge chaudière(s), puissance installée, mode production ECS, etc.),
- Les types d'émetteurs présent dans le bâtiment et/ou la courbe de chauffe,
- La consommation actuelle du site, avec la distinction entre consommation pour le chauffage et l'ECS (si connue)

2.2 Méthodologie pour l'estimation des besoins sur le projet urbain Antonypole

Les besoins en chaleur du projet Antonypole ont été estimés sur la base des **éléments de programmation et les études énergétiques transmises par l'équipe d'aménagement**.

La méthodologie a été la suivante :

- Récupération pour chaque ilot des **surfaces de plancher prévisionnelles par usage** (logements, enseignement, tertiaire, etc.),



| Typologie | Surface (m ² SDP) |
|--------------------|------------------------------|
| Logements | 337 305 |
| Commerces/Services | 22 533 |
| SOHO/Services | 6 547 |
| Enseignement | 17 396 |
| Equipement public | 26 678 |
| Activités | 58 904 |
| Bureaux | 58 949 |
| TOTAL | 528 312 |

- Calcul des **consommations sur la base des ratios en kWh/m²/an considérés dans les études de programmation**, qui sont présentés dans le tableau suivant.

| Typologie | Ratios besoins en énergie (kWh/m ² /an) <i>selon études aménageur</i> | | Ratios besoins en énergie (kWh/m ² /an) <i>Majorés NALDEO</i> | |
|----------------------|---|-----|---|-----|
| | Chauffage | ECS | Chauffage | ECS |
| Logements collectifs | 28 | 22 | 34 | 22 |
| Education | 19 | 0 | 25 | 0 |
| Commerces | 19 | 0 | 25 | 0 |
| Bureaux | 19 | 0 | 25 | 0 |

On note que les **ratios fournis par l'aménageur se basent sur les exigences de la réglementation RE2020**, et qu'en pratique ils peuvent s'avérer sous-estimés selon les usages réels (T°C de consigne, existence de réduits, etc.).

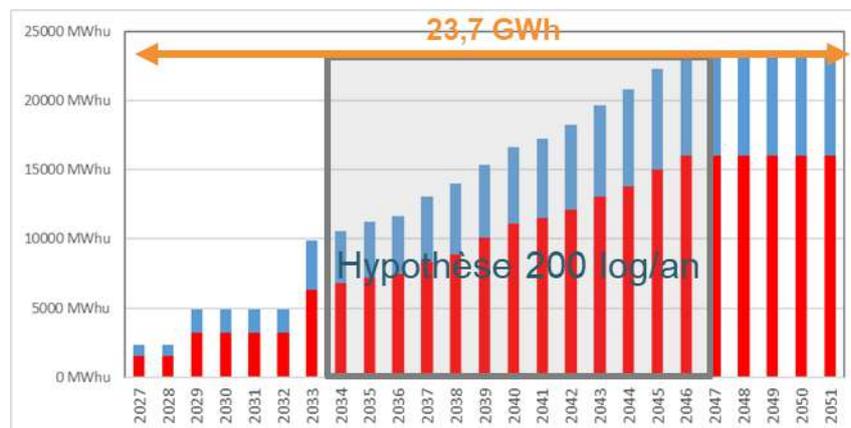
Sur la base de nos retours d'expérience nous avons donc appliqué au ratio de consommation de chaleur pour le chauffage une **majoration de +20% sur les logements et +30% sur le reste des usages**. Le ratio de consommation d'ECS reste inchangé.

| Typologie | Conso CH (Mwhu) | Conso ECS (MWhu) | Conso TOT (MWhu) |
|---|-----------------|------------------|------------------|
| Logements | 11 333 | 7 421 | 18 754 |
| Tertiaire / Activité / Commerce / Autres privés | 3 935 | 0 | 3 935 |
| Enseignement | 430 | 0 | 430 |
| Equipement public | 353 | 272 | 625 |
| TOTAL | 16 051 | 7 693 | 23 744 |

- Calcul de la **puissance appelée** sur la base de la méthodologie détaillée au paragraphe 2.7.

Les dates de livraisons retenues sont basées sur le programme fourni par l'aménageur, qui est phasé de manière précise jusqu'en 2033. Au-delà de cette date nous avons retenu une hypothèse de livraison d'environ 200 logements/an jusqu'en 2046.

L'évolution prévisionnelle des consommations sur la zone est indiquée sur le graphe ci-dessous.



2.3 Prospects étudiés et caractéristiques

L'analyse des besoins en chaleur sur la commune d'Antony a permis d'identifier **124 prospects potentiels**, en considérant le secteur Antonypole et la ville de Bourg-la-Reine comme des prospects uniques.

Le tableau ci-dessous récapitule les quantités de besoins en chaleur pour chaque grande typologie de gestionnaires.

La distinction entre besoins en chauffage et besoin en ECS est faite sur la base :

- **Des consommations en ECS collectées via les questionnaires** (en m³ avec un coefficient q de 0,12 ou directement en MWh), retranchées à la consommation totale,
- **D'une estimation basée sur le nombre de logements pour le secteur résidentiel**, en fixant une limite de 30% des besoins représentant la consommation d'ECS,
- **D'une estimation en prenant pour hypothèse que les besoins en ECS représentent 20% de la consommation totale pour le secteur résidentiel** lorsque le nombre de logements n'est pas connu et pour les bâtiments existants,
- **D'une estimation basée sur l'hypothèse que les besoins en ECS représentent 0% pour le tertiaire et les commerces, et 5% pour les équipements publics.**

Le potentiel global identifié est de **94 GWh/an hors export vers Bourg-la-Reine**, et de **131 GWh avec export vers Bourg-la-Reine**.

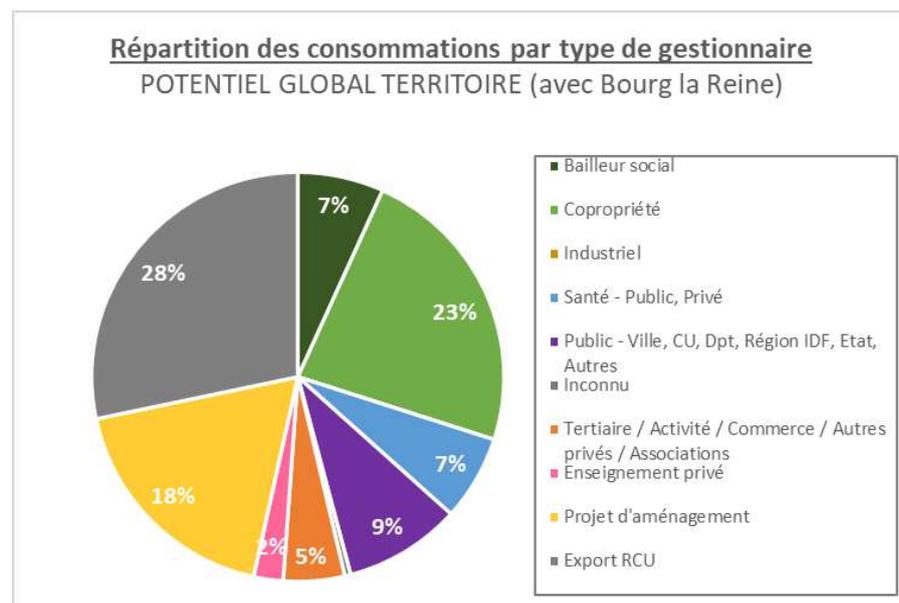
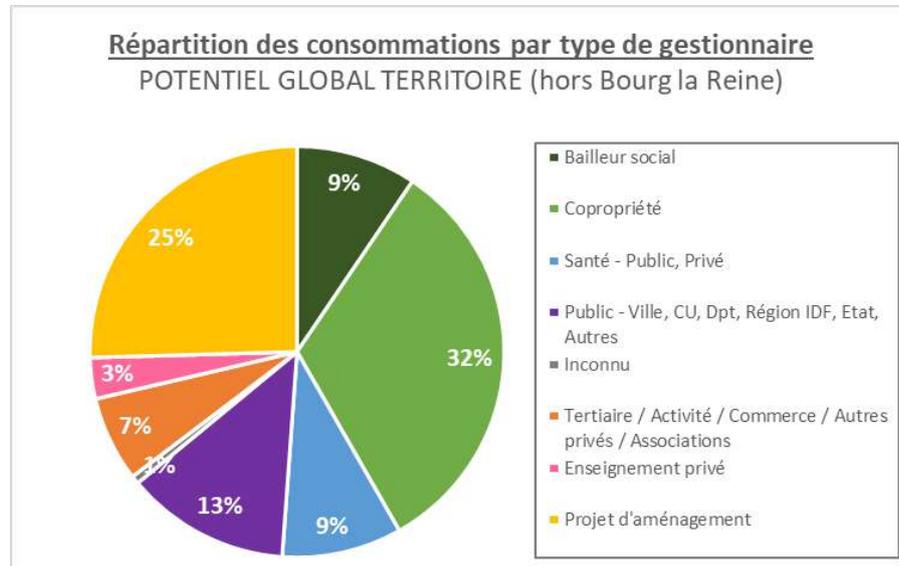
| | Consos CH rèf [MWhu] | Consos ECS rèf [MWhu] | Consos TOT rèf [MWhu] |
|--|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Bailleur social | 6 938 | 1 881 | 8 819 |
| Copropriété | 23 790 | 6 513 | 30 303 |
| Industriel | 0 | 0 | 0 |
| Santé - Public, Privé | 6 944 | 1 831 | 8 775 |
| Public - Ville, CU, Dpt, Région IDF, Etat, Autres | 11 429 | 584 | 12 013 |
| Inconnu | 573 | 32 | 605 |
| Tertiaire / Activité / Commerce / Autres privés / Associations | 6 091 | 178 | 6 269 |
| Enseignement privé | 2 803 | 220 | 3 023 |
| Projet d'aménagement | 16 137 | 7 693 | 23 830 |
| Export RCU | 29 241 | 7 712 | 36 953 |
| TOTAL | 74 706 | 18 931 | 93 637 |
| TOTAL avec export Bourg-la-Reine | 103 947 | 26 643 | 130 590 |

Ce potentiel a ensuite été affiné dans chaque scénario et une partie des prospects identifiés ont été écartés sur la base de plusieurs critères. Chaque prospect écarté a fait l'objet d'une justification du choix de non-intégration dans les scénarios d'étude.

Parmi l'ensemble des prospects, **95 ont été retenus dans les scénarios étudiés**.

La liste des prospects étudiés est fournie en **Annexe 1**.

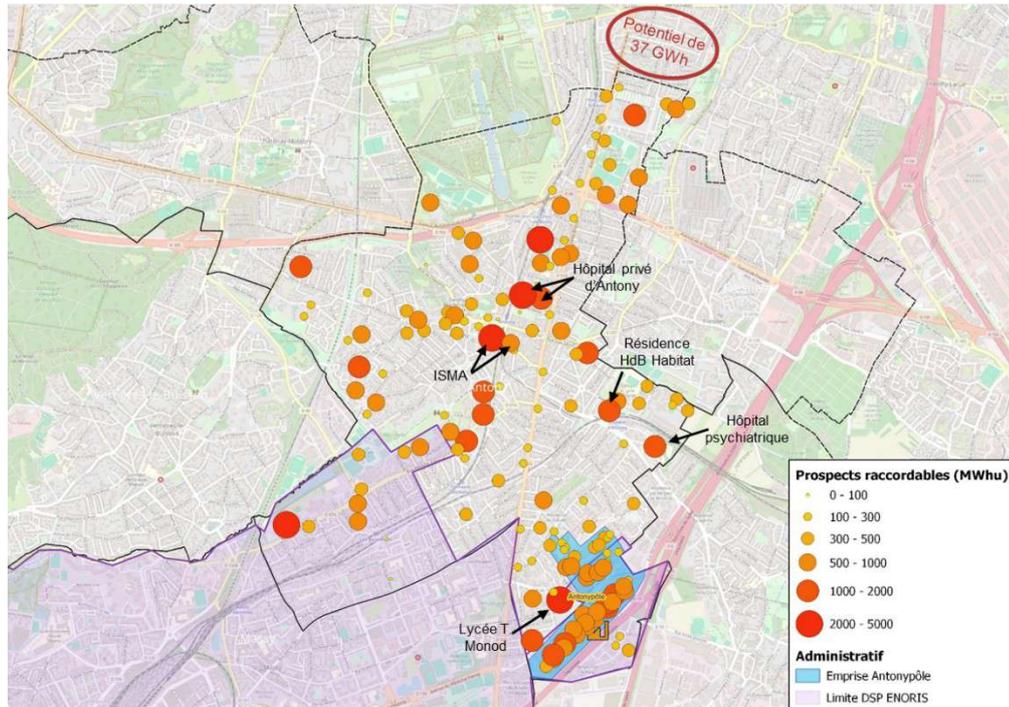
La répartition des prospects étudiés par typologie de gestionnaires est présentée sur le graphe ci-dessous :



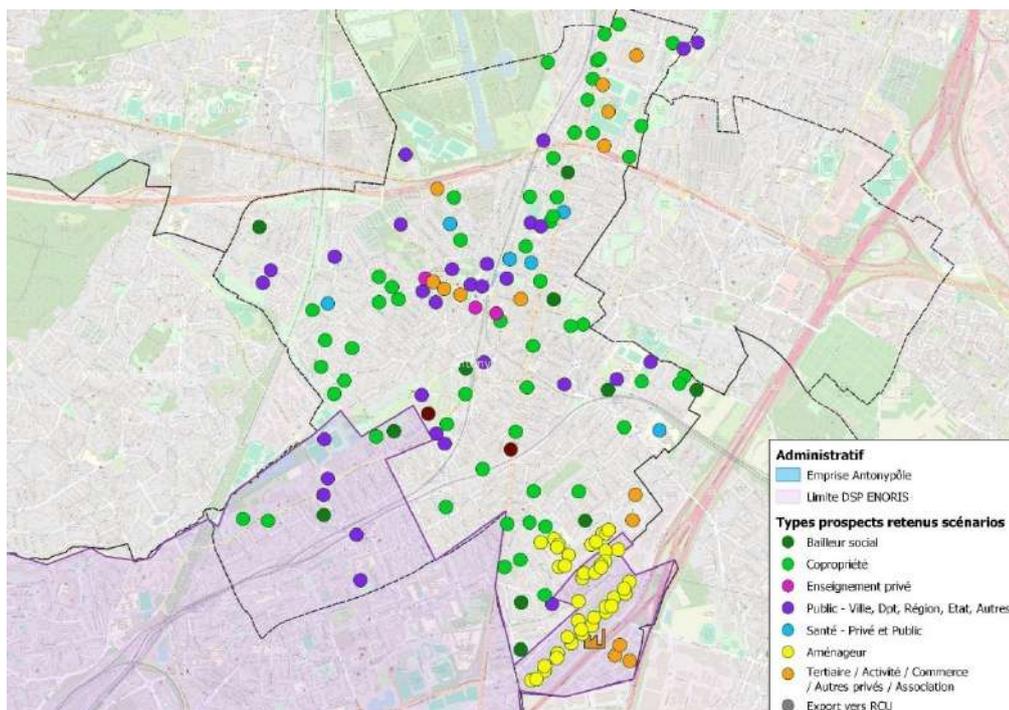
La particularité du territoire d'Antony est la présence d'un grand nombre de copropriétés parmi les prospects. Il conviendra de tenir compte de ce point pour la commercialisation du réseau.

2.4 Cartographie des besoins

La cartographie ci-dessous permet de localiser les points de consommation en chaleur identifiés affichés avec une taille proportionnelle à leur niveau de besoins.



En complément, la cartographie suivante permet d'identifier le type de gestionnaire pour chaque point de consommation retenu.

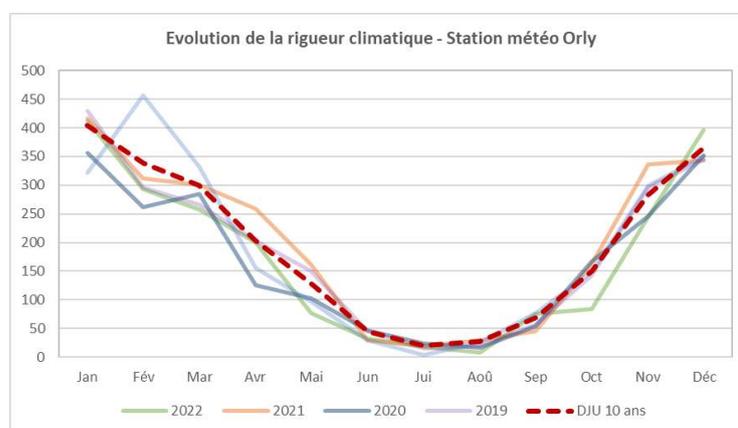


2.5 Rigueur climatique

L'année de référence prise pour le calcul des données de consommation corrigées de la rigueur climatique correspond à la **moyenne décennale des DJU enregistrés sur la station météo d'Orly pendant la période de chauffe du 1^{er} octobre au 31 mai**. Elle s'élève à **2 173 DJU**.

Le choix de corriger les consommations sur la base d'une moyenne décennale et non trentenaire découle d'une volonté de prendre en compte le réchauffement plus rapide du climat observé ces dernières années, et de ne pas surestimer les consommations.

L'année retenue pour la modélisation de la mixité énergétique et le dimensionnement des moyens de production est l'année **2021**, car elle se rapproche de la moyenne décennale et permet de dimensionner les installations avec une marge de sécurité, la rigueur climatique observée ayant été un peu plus élevée que celle des dernières années.



2.6 Évolution des consommations et des puissances

Afin de prendre en compte la réhabilitation des bâtiments dans le temps, **des hypothèses de baisse de consommation ont été appliquées**.

Elle s'appuie sur nos retours d'expérience, les études de l'observation BCC, les seuils du nouveau DPE et les exigences du décret tertiaire, et est calculée de la manière suivante dans l'étude :

- Prise en compte d'une **baisse de consommation uniquement pour les bâtiments livrés avant 2010**,
- Calcul du **ratio de consommation surfacique** pour chaque prospect :
 - **Si inférieur à 110 kWhEP/m²/an** (étiquette B nouveau DPE – ratio maximal de consommation pour obtention label BBC rénovation résidentiel 2024), on ne prend pas en compte une baisse de consommation,
 - **Si supérieur à 110 kWhEP/m²/an** (étiquette B nouveau DPE – ratio maximal de consommation pour obtention label BBC rénovation résidentiel 2024), on prend en compte une baisse de consommation.
- Pour les **prospects auquel on applique une baisse de consommation**, cette baisse est calculée par an sur la base de la baisse minimale entre :
 - Le % de baisse nécessaire pour atteindre le ratio de 110 kWhEP/m²/an,
 - 1% de baisse de consommation sur la durée envisagée de l'étude technico-économique (25 ans).

Les **puissances appelées sont ensuite recalculées sur la base des consommations prenant en compte les baisses**.

2.7 Détermination des puissances

Les puissances maximales appelées des prospects étudiés ont été **déterminées à partir des consommations de chaleur** :

$$\text{Puissance maximale (kW)} = \text{Puissance chauffage} + \text{Puissance ECS}$$

$$\text{Puissance Chauffage} = \frac{\text{Conso}_{Ch} * (TNC - T_{Base})}{24 * DJU * I}$$

Avec

- Conso_{Ch} : Consommation chauffage de référence en kWh utile de l'abonné
- DJU : Les Degrés jours unifiés associés à cette consommation (DJU saison de chauffe) : 2173 DJU
- TNC : La température de non-chauffage du bâtiment : 18°C
- T_{Base} : La température de base définie par région : -7°C
- I : Intermittence du bâtiment.

Les coefficients d'intermittence retenus selon la typologie du bâtiment sont présentés ci-dessous :

| Typologie | Intermittence |
|---|---------------|
| Logement | 0,9 |
| Enseignement | 0,7 |
| Equipement sportif | 0,7 |
| Culture | 0,7 |
| Tertiaire public | 0,8 |
| Equipement public | 0,8 |
| Social | 0,8 |
| Petite enfance | 0,7 |
| Santé | 0,9 |
| Piscine | 0,8 |
| Culte | 0,8 |
| Tertiaire / Activité / Commerce / Autres privés | 0,8 |
| Industrie | 0,7 |
| Inconnu | 0,8 |
| Hôtellerie | 0,9 |
| Résidence étudiante | 0,9 |

Et, pour la puissance d'Eau Chaude Sanitaire (ECS),

$$\text{Puissance ECS (kW)} = \frac{\text{Besoins ECS (MWh)}}{365 \text{ jours} * \text{Temps de réchauffage ECS (h)}} * 1000$$

A défaut d'information sur le volume de stockage ECS et le mode de production de l'ECS, le **temps de réchauffage journalier est pris à 6h/jour**, correspondant à une production d'ECS semi-instantanée.

La **puissance souscrite** est considérée égale à la puissance maximale appelée pour la modélisation économique.

La **puissance à installer en sous-stations** est déterminée par la puissance maximale appelée en appliquant un coefficient de surpuissance (ici CS=1,2).

3 SOURCES DE CHALEUR RENOUVELABLE ET DE RÉCUPÉRATION IDENTIFIÉES

L'étude d'opportunité a permis de retenir comme moyens de production renouvelable et de récupération :

- La **géothermie profonde au DOGGER**,
- Un complément d'énergie EnR&R potentiel via une **interconnexion avec le réseau existant du SIMACUR** sur Massy-Antony (ENORIS).

L'étude d'opportunité avait également étudié la **possibilité d'un import de chaleur fatale depuis un Datacenter en cours de construction** (phase 1 déjà existante) sur la ville de Wissous. Cependant :

- Cette source d'énergie **ne permettait pas de couvrir les besoins au-delà du projet urbain Antonympole**, l'alimentation en chaleur renouvelable du reste de la ville d'Antony nécessite donc la mise en place d'une seconde source d'énergie renouvelable
- Son **faible niveau de température est moins adapté au reste des besoins en chaleur d'Antony**, constitué en bonne partie bâtiments relativement anciens, avec des régimes de température élevés,
- Le réseau partant du Datacenter pour alimenter Antonympole et la ville d'Antony doit **traverser les autoroutes A6 et A10**, avec un point dur particulier au niveau du franchissement de l'A6 (pont autoroutier ne pouvant pas accueillir le réseau), ce qui induit une contrainte particulière pour le passage du feeder d'alimentation de l'ensemble du réseau.

Pour toutes ces raisons **le recours à la chaleur du Datacenter pour le projet de réseau de chaleur sur la ville d'Antony a été écarté à ce stade. Il pourra être réévalué si le développement du réseau dépasse les hypothèses de la présente étude et nécessite une source d'ENR&R complémentaire.**

Le choix de la mise en place d'une géothermie profonde au DOGGER, potentiellement complétée par un import depuis le réseau d'ENORIS respecte donc bien la démarche EnR choisie mise en place par l'ADEME.



3.1 Géothermie profonde au DOGGER

Une **étude de potentiel de la géothermie au Dogger** a été réalisée en parallèle de cette étude de faisabilité par un **bureau d'étude sous-sol**.

Cette étude a permis de déterminer :

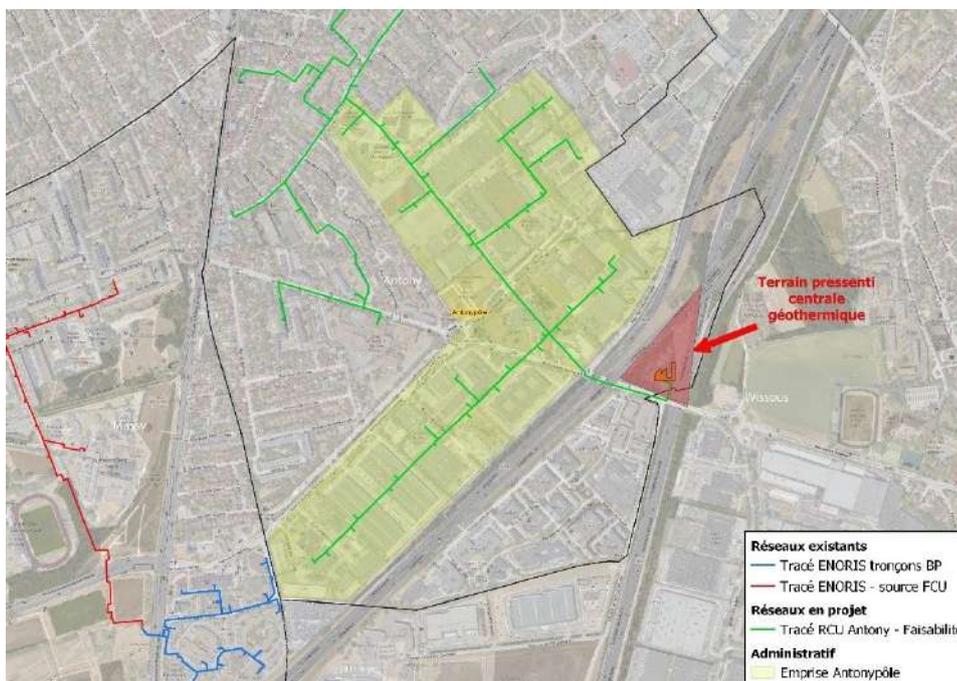
- **L'emplacement potentiel de la gélule réglementaire géothermique**, sur la base de la localisation du terrain pressenti pour accueillir les équipements de surface (centrale géothermique),
- **Les impacts potentiels du projet sur les doublets voisins**,
- **Les principales caractéristiques de la nappe au niveau des points d'impact au Dogger** : température, transmissivité,

Le SIMACUR a d'ores et déjà engagé des discussions avec les collectivités ou acteurs privés voisins possédant un doublet, ce qui a permis de trouver l'emplacement de la gélule et des points d'impact le plus adapté pour préserver les intérêts de chaque acteur.

Les paragraphes suivants synthétisent les principaux résultats de l'étude de faisabilité géothermie au dogger du bureau d'étude sous-sol (ANTEA). Nous renvoyons vers **l'étude détaillée jointe en Annexe 2** pour plus de précisions.

3.1.1 Localisation de la centrale géothermique

Le terrain pressenti pour accueillir la centrale géothermique et les équipements d'appoint est situé **avenue Léon Jouhaux à Antony, sur un triangle autoroutier entre les autoroutes A6 et A10**.



La surface approximative du terrain est de **7 000 m²**.

3.1.2 Implantation envisagée lors de la phase chantier (forage)

L'étude réalisée par ANTEA a permis de projeter une **implantation envisageable pour les équipements lors de la phase forage**. Cette implantation tient compte des différentes contraintes du site, et notamment de la nécessité de conserver une distance entre le mât de forage, haut de 36 m, et les autoroutes A6 et A10.

Il est rappelé qu'une **surface de 5 000 m² minimum est nécessaire en phase chantier** pour un forage de géothermie au Dogger.

L'étude d'Antea conclut à la faisabilité d'implanter les équipements nécessaires au forage sur la parcelle.



3.1.3 Implantation envisagée en phase exploitation

L'étude d'Antea préfigure l'emplacement des têtes de puits et de la centrale géothermique sur le terrain (voir implantation ci-dessous).

Les hypothèses considérées sont :

- Une **surface libre de 1 500 m2 nécessaire autour des têtes de puits**, afin de pouvoir réaliser les diagaphies et les opérations de work-over du doublet sans encombre,
- Une **surface au sol de la centrale autour de 800 m2**.

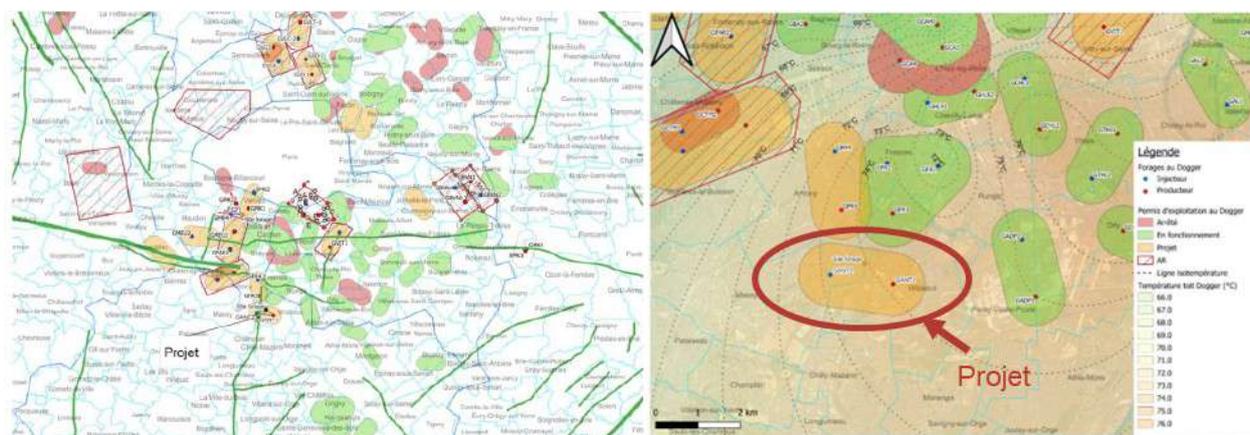
En complément de cette implantation, notre étude détaille aux paragraphes 5.1.2.4 et 5.3.2.4 le positionnement pressenti des différentes parties du process : boucle géothermale, local hydraulique avec pompes réseau, local PAC et appoint gaz.



3.1.4 Positionnement de la gélule réglementaire

La gélule réglementaire pressentie a été positionnée par Antea de manière à obtenir les caractéristiques les plus favorables (température élevée, transmissivité la plus élevée possible, etc.) tout en limitant l'impact sur les doublets voisins.

Les vues cartographiques ci-dessus sont extraites de l'étude d'Antea et présentent le positionnement envisagé pour la gélule.



3.1.5 Principales caractéristiques de la ressource

Sur la base du positionnement des impacts des puits au niveau du Dogger, les caractéristiques suivantes ont été retenues par l'étude d'Antea :

| Caractéristiques | Valeur retenue projet d'Antony (étude Antea) |
|--|--|
| Profondeur du toit (mNGF) | -1530 +/- 20 mNGF |
| Température de fond au niveau du producteur (°C) | 74 +/- 2°C |
| Transmissivité (D.m) | 10 à 15 D.m |
| Salinité (g/L) | 17 +/- 2 g/L |

Dans le cadre des **simulations énergétiques réalisées pour chaque scénario** de notre étude de faisabilité, **nous avons retenu la valeur de 73°C** en température d'exhaure au niveau des têtes de puits.

3.1.6 Résultats des simulations hydrauliques de l'étude sous-sol

Des simulations hydrauliques ont été réalisées par Antea afin notamment de déterminer le débit maximal pouvant être obtenu selon différentes architectures de puits. Les résultats sont exposés dans le tableau ci-dessous, extrait de l'étude.

| Scenarii | Caractéristiques | Débit moyen (m ³ /h) | Débit maximal (m ³ /h) | Température moyenne de réinjection (°C) |
|----------|--|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| A | Architectures classiques | 220 | 350 | 45 |
| A bis | Diamètres conventionnels | 240 | 350 | 40 |
| B | Architectures multidrains | 220 | 350 | 45 |
| B bis | Diamètres conventionnels | 240 | 350 | 40 |
| C | Architectures classiques Surdiamètres | 260 | 450 | 40 |
| D | Architectures multidrains Surdiamètres | | | |
| E | Stockage de chaleur Architectures classiques Diamètres conventionnels | 200 | | 40 en hiver 90 en été |
| F | Inversion producteur/Injecteur Architectures multidrains Surdiamètres | 260 | 450 | 40 |

En effet, au vu de la faible transmissivité, une architecture classique est moins sécurisante pour obtenir un débit maximal au minimum de 350 m³/h, nécessaire dans le cas du projet de réseau de chaleur sur Antony pour obtenir un taux de couverture EnR&R élevé.

Une **architecture incluant un multidrains est ainsi privilégiée** à ce stade.

Cette architecture multidrains **pourrait également être couplée à une architecture de puits incluant un diamètre plus élevé (surdiamètre)** que celui usuellement mis en place pour les doublets au Dogger, qui permettrait d'atteindre un débit de 450 m³/h. Le surdiamètre présente un intérêt pour le scénario de développement du réseau le plus ambitieux, et est un gage de pérennité du doublet (possibilité de chemiser les forages tout en maintenant un débit important).

On note enfin que **la possibilité d'un stockage de chaleur dans le Dogger sur la période estivale a également été préfigurée**. En effet, le réseau existant de Massy-Antony possède un surplus d'énergie de récupération produite par l'UVE en été, il pourrait donc y avoir une pertinence à réinjecter cette chaleur afin de réchauffer le Dogger et éviter les effets de « bulle froide » sur le long terme, ainsi que minimiser voire annuler les impacts hydrauliques du doublet.

Une **architecture multidrains avec un débit maximal de 350 m³/h** a été retenue pour nos modélisations énergétiques et économiques.

3.2 Import de chaleur depuis le réseau d'ENORIS

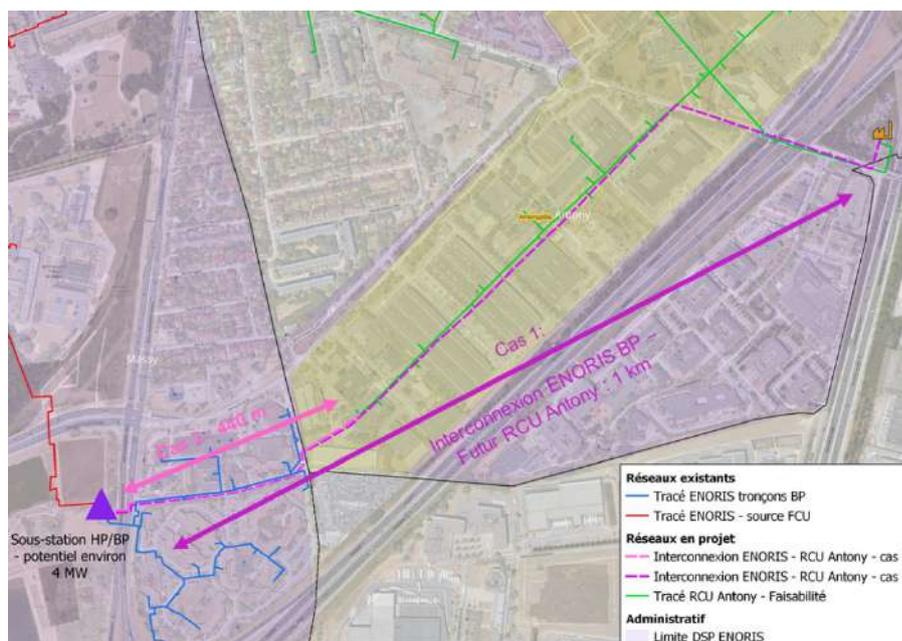
L'import de la chaleur depuis le réseau d'ENORIS a été étudié lors de l'étude d'opportunité.

Pour rappel le **taux d'EnR&R du réseau existant de Massy-Antony était de 82,5% en 2023**, dont 48,2% d'UVE et 34,3% de biomasse. Un avenant signé en 2024 prévoit de supprimer le recours au charbon qui serait remplacé par le recours à du bois-B. Le **taux d'EnR&R contractuel** du réseau suite aux travaux prévus dans l'avenant est **de 90%**.

Deux solutions d'interconnexion ont été envisagées lors de l'étude d'opportunité :

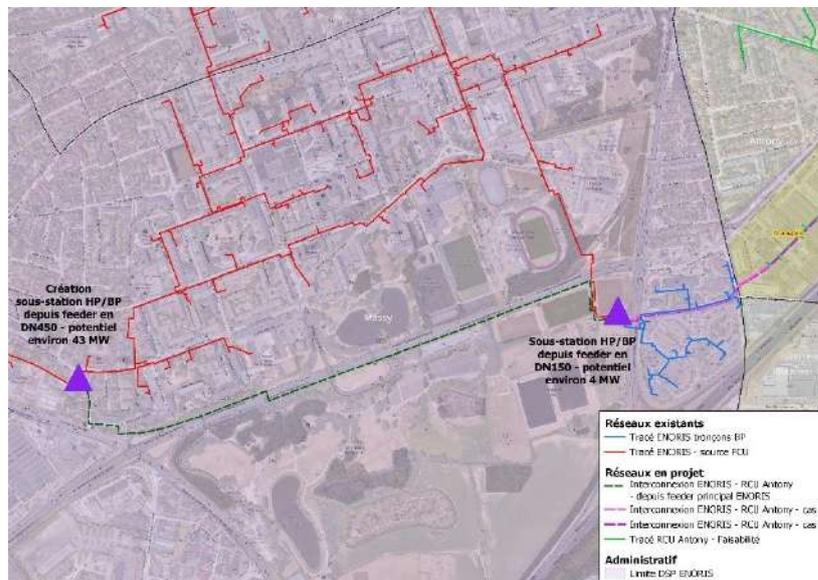
- **Alimentation via le feeder d'alimentation le plus proche (DN150)** du projet de réseau sur Antonympole et Antony, qui alimente une branche du réseau existant d'ENORIS en BP, et **permettrait de récupérer jusqu'à 4 MW** (limite de puissance induite par le diamètre des tuyauteries existantes qui est de DN150 – ne prenant pas en compte la disponibilité des moyens de production),

La distance au point le plus proche du futur réseau d'Antony serait **d'environ 440 m**, et la **distance à la centrale géothermique d'environ 1 km**.



- **Alimentation depuis un tronçon structurant du réseau ENORIS (DN450)**, situé à environ 1,7 km de la sous-station d'échange HP/BP existante et qui est en capacité de véhiculer **environ 43 MW au maximum**. A noter que la **puissance réellement disponible est probablement inférieure à cette valeur** car, d'une part le tronçon amont au point de jonction alimente également une zone assez dense du réseau de Massy et n'a probablement pas été dimensionné suffisamment pour assumer une telle puissance supplémentaire, et d'autre part cette valeur ne prend pas en compte la disponibilité des moyens de production.

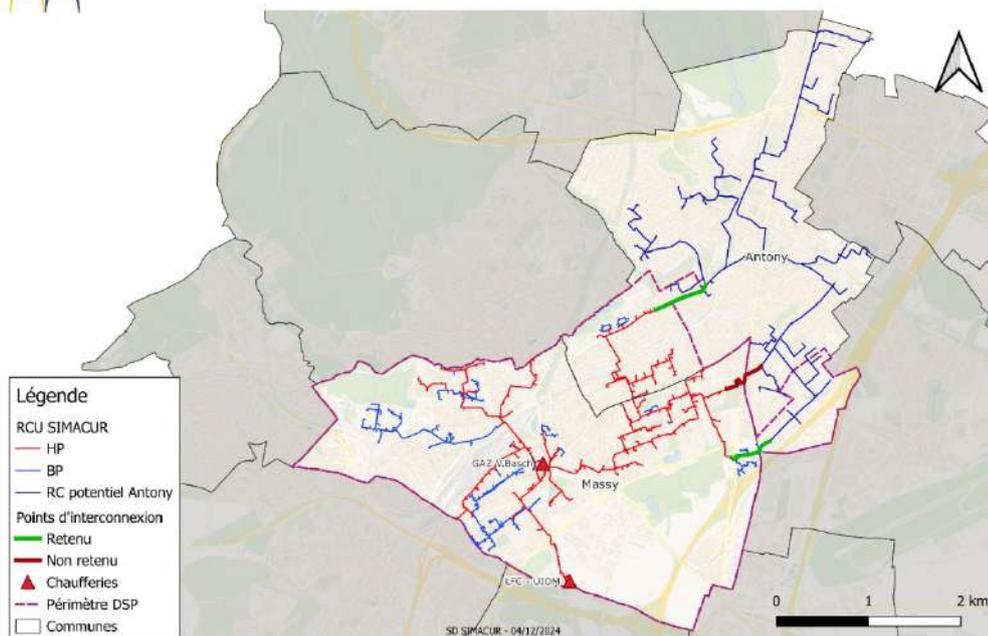
La distance au point le plus proche du futur réseau d'Antony serait **d'environ 2 km**, et la **distance à la centrale géothermique d'environ 2,6 km**.



Autres possibilités (identifiées dans le schéma directeur):



Points d'interconnexions avec le réseau d'Antony en projet



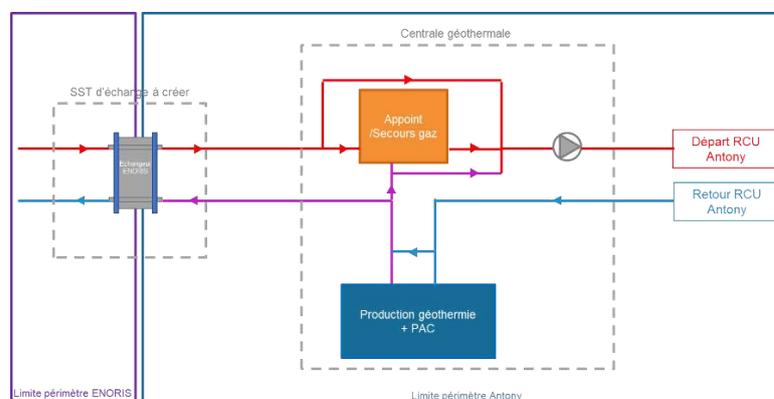
D'après l'étude d'opportunité une **alimentation exclusive du projet Antonympole** (hors reste de la ville d'Antony) **par le réseau d'ENORIS aboutirait à un taux EnR&R d'environ 67%**.

Par conséquent **nous n'avons pas retenu cette solution technique dans la présente étude de faisabilité**, qui prévoit également un développement sur la ville d'Antony, voir un possible export vers Bourg-la-Reine, rendant largement insuffisant l'import d'EnR&R qui pourrait être réalisé depuis le réseau d'ENORIS.

En première intention, au vue des incertitudes sur la quantité de chaleur EnR&R qui pourrait réellement être importée depuis ENORIS une fois les travaux de modification de la centrale réalisés (passage au bois B intégral) et des développements étudiés dans le schéma directeur en cours, et afin d'adopter une approche conservatrice sur le taux d'EnR&R calculé, **il a été décidé de ne pas inclure cette source de chaleur dans les modélisations.**

Elle est cependant considérée de manière qualitative, et peut être **envisagée d'une part comme un appoint/secours au futur réseau d'Antony**, et d'autre part comme un apport d'énergie depuis l'UVE en période estivale en vue d'une **réinjection de chaleur dans le Dogger.**

Dans le cas où la chaleur importée depuis le réseau d'ENORIS serait utilisée en appoint/secours, le schéma synoptique simplifié suivant (voir schéma ci-dessous) est envisagé.

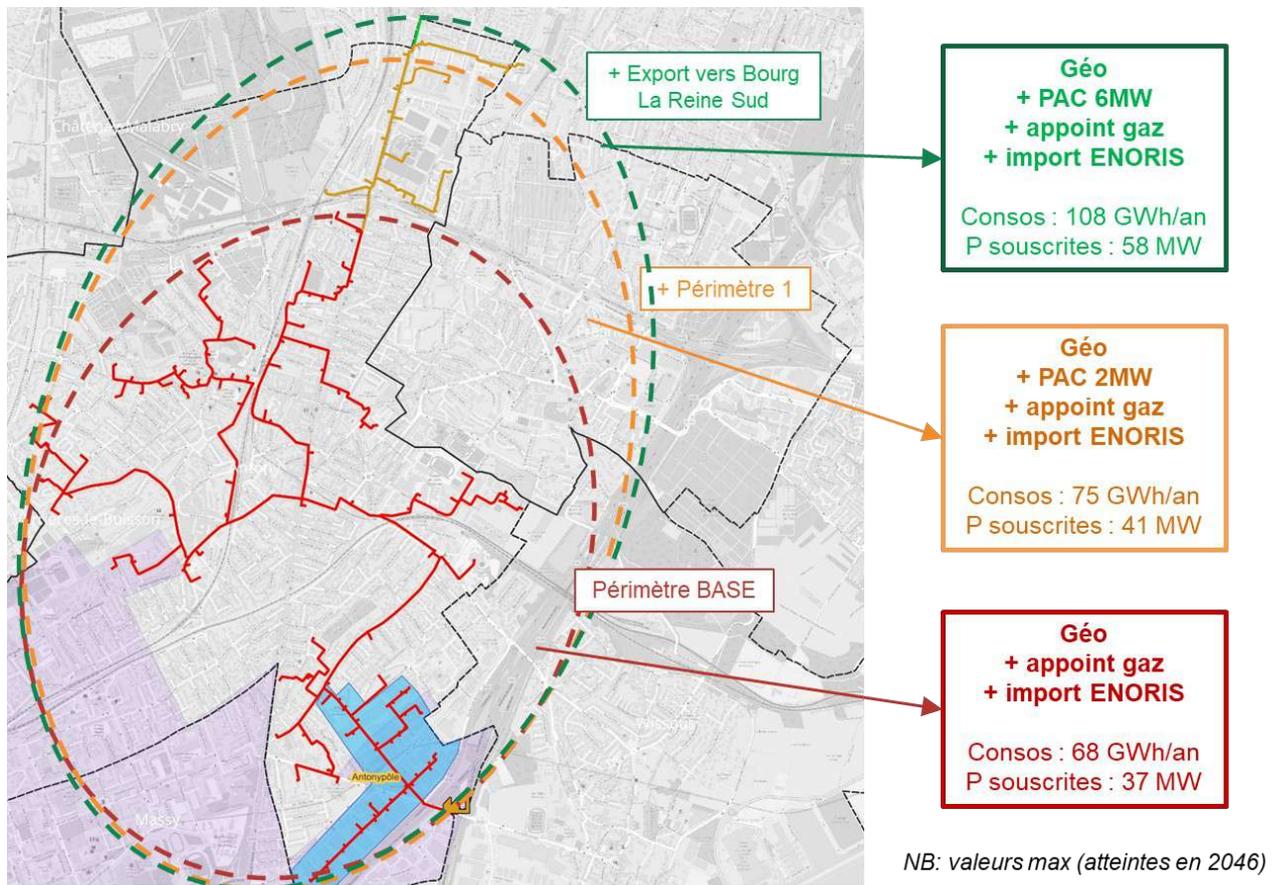


4 DÉFINITION DES SCÉNARIOS D'ÉTUDE

Les scénarios d'études sont définis sur la base :

- D'un moyen de production EnR&R commun à tous les scénarios : la **géothermie profonde au Dogger, associée ou non à des pompes à chaleur**, avec un **objectif de couverture d'énergie renouvelable de 75% au minimum, 80% dans l'idéal**,
- De secteurs de développement plus ou moins ambitieux :
 - **Secteur de base** : ville d'Antony y compris Antonympole, hors secteur Croix-de-Berny,
 - **Secteur 1** : secteur de base + secteur Croix de Berny,
 - **Secteur 2** : secteur 1 + export vers le Sud de la ville de Bourg-la-Reine.

La cartographie ci-dessous présente les périmètres de **3 scénarios d'étude retenus** :



Une étude technico-économique a été menée sur chacun de ces 3 scénarios. Les résultats sont présentés dans les chapitres suivants.

5 ETUDE ÉNERGÉTIQUE ET TECHNIQUE DES SCÉNARIOS

5.1 Scenarior de BASE

5.1.1 Dimensionnement des moyens de production et mix énergétique

5.1.1.1 Profil des besoins

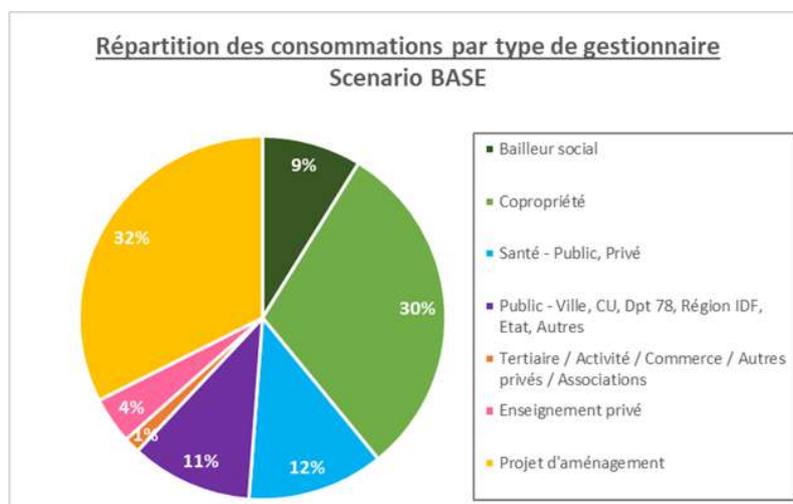
Un profil des besoins énergétiques **au pas de temps horaire** a été réalisé.

Les hypothèses suivantes ont été appliquées :

- Modélisation sur une **année type 2021** (voir 2.5 pour la justification de cette hypothèse),
- Modélisation réalisée pour le **réseau complètement développé**, soit pour l'année **2046**, correspondant à des besoins de :

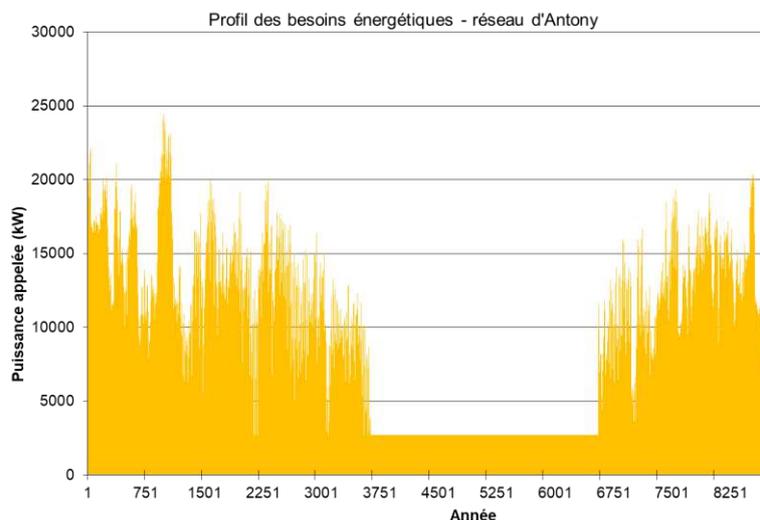
| Conso CH (MWh) | Conso ECS (MWh) | Conso TOT (MWh) |
|----------------|-----------------|-----------------|
| 52 303 | 16 080 | 68 383 |

- **115 points de livraisons**,
- **La répartition suivante par type de gestionnaire :**



- Un **profil d'appel ECS lissé sur l'année**, sur la base du total des besoins annuels,
- Des **réduits de température de chauffage** la nuit, le week-end (pour les bâtiments tertiaires), et pendant les vacances scolaires (pour les bâtiments d'enseignement),
- Une saison de chauffe du **01/10 au 31/05**,
- Un **rendement de distribution** sur le réseau de **90%**.

Ce profil correspond au besoin du réseau de chaleur, en sortie de chaufferie, avec l'hypothèse de rendement présentée ci-dessus.



Cette courbe met en évidence, pour le réseau complètement développé :

- Une pointe d'appel de puissance de **24 425 kW** pour la température extérieure de base de -7°C , soit un foisonnement de 60% par rapport à la somme des puissances en sous-stations,
- Un **talon d'ECS autour de 1 800 kW** hors pertes réseau, et autour de 2 700 kW pertes comprises.

5.1.1.2 Calcul du régime de température du réseau

La **modélisation de la puissance** pouvant être fournie par la géothermie et la ou les éventuelles PAC est liée au régime de température du réseau, il est donc nécessaire d'estimer les températures aller et retour de celui-ci en fonction de la température extérieure.

La **température délivrée par la chaufferie** (température aller) est prise par hypothèse à **95°C par -7°C** extérieure. Cette température pourra être ajustée par la suite lors d'études ultérieures.

La **température retour sur le réseau dépend des régimes de température de chaque point de livraison**.

Les données récupérées pour les différents prospects n'ont permis que très rarement d'obtenir une information précise sur le régime de température du bâtiment et le type d'émetteurs présents dans le bâtiment. Seule la ville d'Antony a communiqué ces informations pour la quasi-totalité de son patrimoine bâti potentiellement raccordable.

La plupart des régimes de température sont donc estimés sur la base :

- De **l'année de construction** du bâtiment si connue :
 - Si construit avant 1960 ; 90°C aller – 70°C retour,
 - Si construit entre 1960 et 1980 : 80°C aller – 60°C retour,
 - Si construit entre 1980 et 2010 : 75°C aller – 55°C retour,
 - Si construit après 2010 : 60°C aller – 40°C retour.
- En prenant une **hypothèse par défaut** d'un régime de température de **80°C aller – 60°C retour** par -7°C sur le réseau secondaire (réseau circulant à l'intérieur du bâtiment).

On considère ensuite un **pincement de 2°C pour l'échangeur en sous-station**, ce qui est généralement l'objectif recherché pour un réseau alimenté principalement par une géothermie. Les courbes de

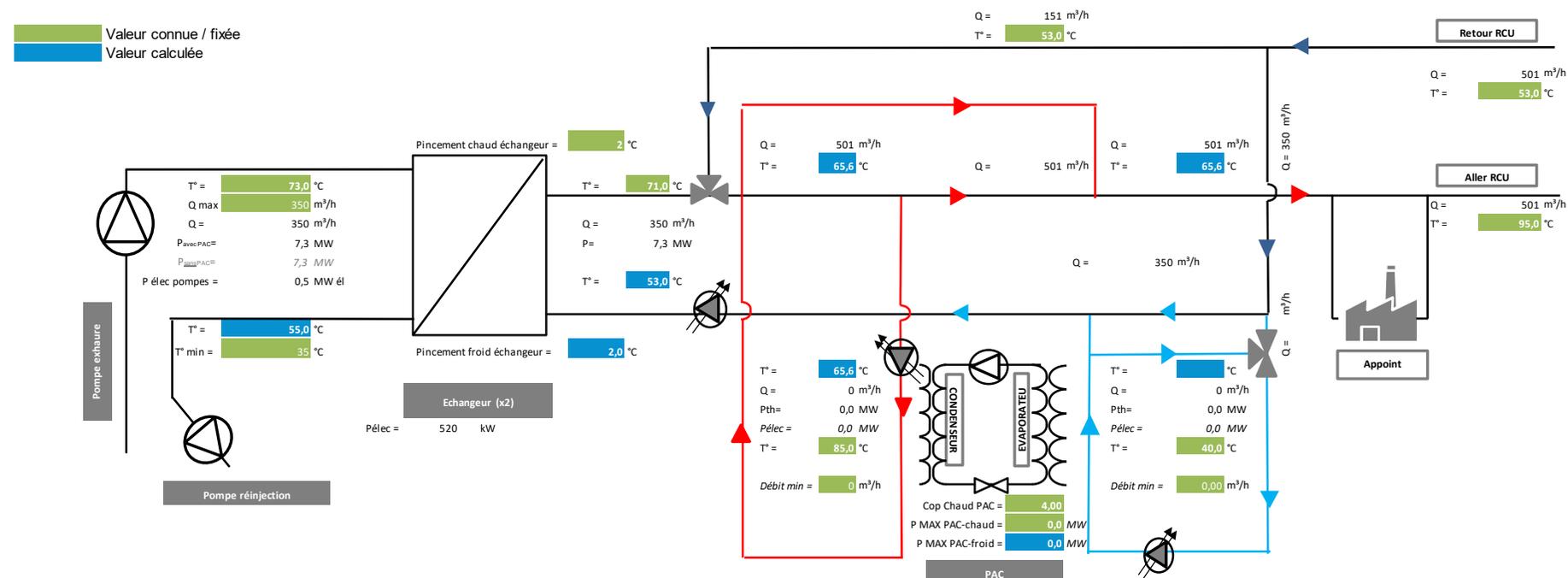
températures aller et retour estimées pour des températures extérieures entre -7°C et 19°C sont présentées dans le tableau ci-dessous.

| T ext (°C) | T aller RCU | T retour chauffage |
|------------|-------------|--------------------|
| -7 | 95 | 53 |
| -6 | 93 | 52 |
| -5 | 90 | 52 |
| -4 | 88 | 51 |
| -3 | 85 | 50 |
| -2 | 83 | 50 |
| -1 | 81 | 49 |
| 0 | 78 | 49 |
| 1 | 76 | 48 |
| 2 | 73 | 47 |
| 3 | 71 | 47 |
| 4 | 71 | 46 |
| 5 | 71 | 46 |
| 6 | 71 | 45 |
| 7 | 71 | 44 |
| 8 | 71 | 44 |
| 9 | 71 | 43 |
| 10 | 71 | 43 |
| 11 | 71 | 42 |
| 12 | 71 | 41 |
| 13 | 71 | 41 |
| 14 | 71 | 40 |
| 15 | 71 | 40 |
| 16 | 71 | 39 |
| 17 | 71 | 39 |
| 18 | 71 | 42 |
| 19 | 71 | 42 |

5.1.1.3 Cascade de production

Le schéma utilisé pour la **modélisation de la géothermie profonde et des pompes à chaleur associées** est le suivant.

Les valeurs indiquées sont celles pour un fonctionnement à -7°C extérieur.

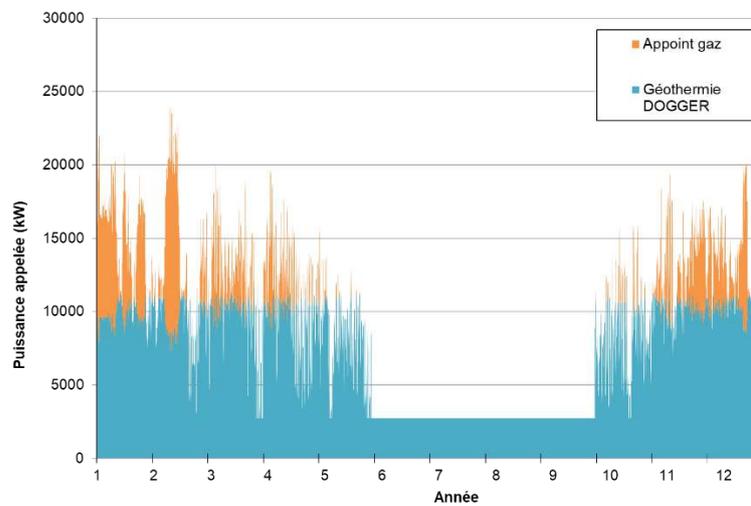


En sortie de boucle géothermale l'**appoint est réalisé par des chaudières gaz**.

L'ordre de priorité des moyens de production est indiqué sur le schéma ci-dessous.



La courbe présentant les appels de puissance sur les différents moyens de production est présentée ci-dessous.



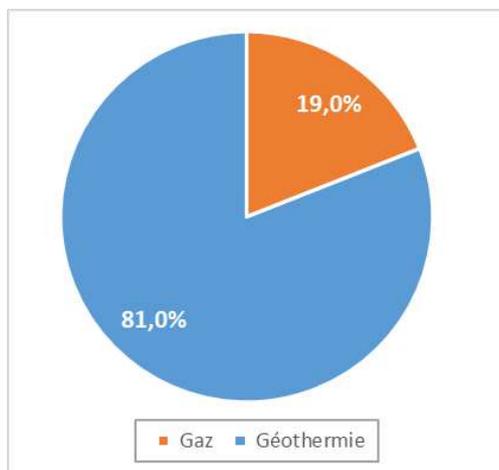
Le dimensionnement et les performances des moyens de production retenus est le suivant :

| Type production | P à installer (MW) | Min technique (%) | Rend. (%) ou COP | Débit max (m3/h) | Débit moyen (m3/h) | T°C production max (°C) | Mode de fonctionnement |
|----------------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|
| Géothermie profonde | 12 MW d'échangeur | - | COP : 26 | 350 m3/h | 227 m3/h | 71°C | Base |
| PAC | - | 20% puissance max | COP : 4 | - | - | - | - |
| Chaudières gaz | 24 MW | 0% puissance max | 92% | - | - | - | Appoint Secours |

La modélisation du scénario de BASE montre que l'ajout d'une ou plusieurs pompes à chaleur n'est pas nécessaire pour atteindre les 80% d'EnR&R. Cette conclusion pourra être affinée lors de la phase de conception du réseau de chaleur.

5.1.1.4 Mixité énergétique

Le taux de couverture EnR&R annuel est de **81%** à partir du développement total du réseau.



Les **quantités produites par chaque moyen de production en année établie (2046)** sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

| Type production | Quantité en MWhu/an |
|----------------------------|----------------------|
| Géothermie profonde | 61 554 |
| PAC | - |
| Chaudières gaz | 14 427 |
| TOTAL | 75 981 MWh/an |

5.1.1.5 Consommations en combustibles et électricité

Les **quantités de combustibles ou d'électricité en entrée de chaufferie** sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

| Type production | Quantités |
|--|----------------|
| Electricité pompes géothermales | 2 332 MWhél |
| Electricité PAC | - |
| Gaz | 17 422 MWh PCS |

5.1.2 Implantation de la chaufferie

5.1.2.1 Estimation des surfaces nécessaires pour le bâtiment chaufferie

À partir de plans de chaufferies existantes ayant les mêmes gammes de puissance, les surfaces estimées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

| Process / Usage | Surface (m ²) |
|--|---------------------------|
| Local hydraulique : Boucle géothermale et pompes réseau | 250 |
| Local PAC | - |
| Chaufferie gaz | 300 |
| Local transformateur | 50 |
| Bureaux, salles de réunion et vestiaires | 100 |
| TOTAL Surface chaufferie | 700 m² |

On note qu'une centrale avec 1 voire 2 niveaux est envisageable et permettrait de réduire l'emprise au sol.

5.1.2.2 Estimation de la surface nécessaire pour la plateforme géothermale

Le guide des bonnes pratiques du BRGM recommande de conserver **1 500 m² autour des têtes de puits en phase exploitation (confirmé par l'étude Antea)**. Il est possible d'envisager de ne conserver que 600 m² à condition de reconstituer une plateforme de 1 500 m² tous les 10 ans environ.

Le tableau ci-dessous rappelle les principales opérations réalisées durant l'exploitation d'un doublet, en précisant la fréquence et la surface nécessaire.

| Opération de maintenance | Fréquence indicative | Durée de l'opération | Appareil(s) d'intervention | Ordre de grandeur de l'emprise au sol nécessaire |
|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|
| Auscultation/ Diagnostic | Environ 4 par an | 1 journée | <ul style="list-style-type: none"> 1 véhicule léger (camion laboratoire) | Environ 100 m ² |
| Géochimie | Environ 12 par an | | | |
| Contrôle du tube de traitement | Environ 2 par an | | | |
| Remontée / descente de pompe | Au minimum tous les 5 ans Ou sur panne | 2 semaines | <ul style="list-style-type: none"> 1 camion de saumure 1 grue sur camion 1 semi-remorque 1 plateforme métallique de travail à l'aplomb du puits | Environ 600 m ² |
| Diagraphie (Inspection des cuvelages) | Tous les 3 ans pour le puits injecteur | 1 journée pour le puits injecteur | <ul style="list-style-type: none"> 1 camion de saumure 1 grue sur camion 1 unité de manœuvre du tube de traitement (pour le puits producteur) 1 camion de diagraphie | 400 m ² pour le puits injecteur |
| | Tous les 5 ans pour le puits producteur | 2 semaines pour le puits producteur | | 600 m ² pour le puits producteur |
| Curage | Environ tous les 10 ans (conditionné par l'état du puits) | 3-4 semaines par puits | <ul style="list-style-type: none"> 1 camion de saumure 1 grue sur camion 1 unité de manœuvre du tube de traitement (pour le puits producteur) | Environ 1200 m ² |
| Rechemisage (suite à un curage) | Environ tous les 20 ans (conditionné par l'état du puits) | 1 mois | <ul style="list-style-type: none"> 1 machine de work-over (appareil de réhabilitation auto- porté) | Environ 1200 m ² |

5.1.2.3 Terrain

Le terrain pressenti pour accueillir la centrale géothermique et les équipements d'appoint est situé **avenue Léon Jouhaux à Antony, sur un triangle autoroutier entre les autoroutes A6 et A10.**

Nous renvoyons au *paragraphe 3.1.1* pour la cartographie permettant de situer plus précisément ce terrain.

Le terrain identifié est actuellement propriété de la DIRIF.

5.1.2.4 Implantation prévisionnelle des équipements

Un projet d'implantation des différents équipements s'appuyant sur le positionnement des têtes de puits et de la plateforme géothermale défini par l'étude d'Antea est présenté ci-dessous.



Ce terrain a l'avantage de ne pas être contraint par des constructions voisines et est suffisamment grand pour l'implantation de la chaufferie et la plateforme géothermale.

Il est facilement accessible du fait de la proximité des autoroutes A6 et A10. L'accès se fera via l'avenue Léon Jouhaux.

Le découpage du foncier sera décidé après les études de conception afin d'adapter au mieux la taille de la parcelle au projet.

5.1.2.5 Contraintes réglementaires impactant l'implantation

Notre modélisation prévoit une puissance de la chaufferie supérieure à 20 MW, celle-ci serait donc soumise à la **réglementation ICPE 2910A Enregistrement**.

On note que lors de la phase de conception des optimisations pourront être apportées afin de limiter la puissance de la chaufferie en dessous de 20 MW et d'être soumis à la réglementation 2910A Déclaration.

Le fait que la chaufferie soit soumise à déclaration et non plus à enregistrement permettrait entre autres des règles d'implantation plus souples, des contrôles réglementaires et des normes d'émissions un peu moins contraignantes, et de ne pas être soumis à la réglementation européenne sur les quotas de CO₂.

La baisse de la puissance à installer en chaufferie pourrait être permise par un appoint/secours depuis le réseau d'Enoris et/ou la récupération de chaudières d'abonnés structurant pour le futur réseau d'Antony.

Les règles d'implantation structurantes sont les suivantes :

- **20 mètres des limites de propriété** de l'installation et des établissements recevant du public de 1^{re}, 2^e, 3^e et 4^e catégorie, des immeubles de grande hauteur, des immeubles habités ou occupés par des tiers et des voies de circulation autres que celles liées à la desserte ou l'exploitation de l'installation
NB : cette distance est réduite à 10m pour les installations soumises à déclaration uniquement (< 20 MW)
- **10 mètres des installations mettant en œuvre des matières combustibles ou inflammables**
- L'installation ne se situe pas au-dessus ou en-dessous de locaux habités, occupés par des tiers ou à usage de bureaux, à l'exception de locaux techniques. Elle n'est pas située en sous-sol

En cas d'impossibilité technique de respecter ces distances, une **demande de dérogation devra être déposée à la DRIEAT et des mesures seront nécessaires sur la résistance au feu du bâtiment** (coupe-feu 2h).

On note que dans l'implantation présentée dans le paragraphe 5.1.2.4 la **distance entre la limite de propriété au point le plus proche du bâtiment chaufferie est autour de 15 m**. Une dérogation pourrait donc s'avérer nécessaire, ou le cas échéant un positionnement différent de la chaufferie gaz, vers le Nord du terrain par exemple.

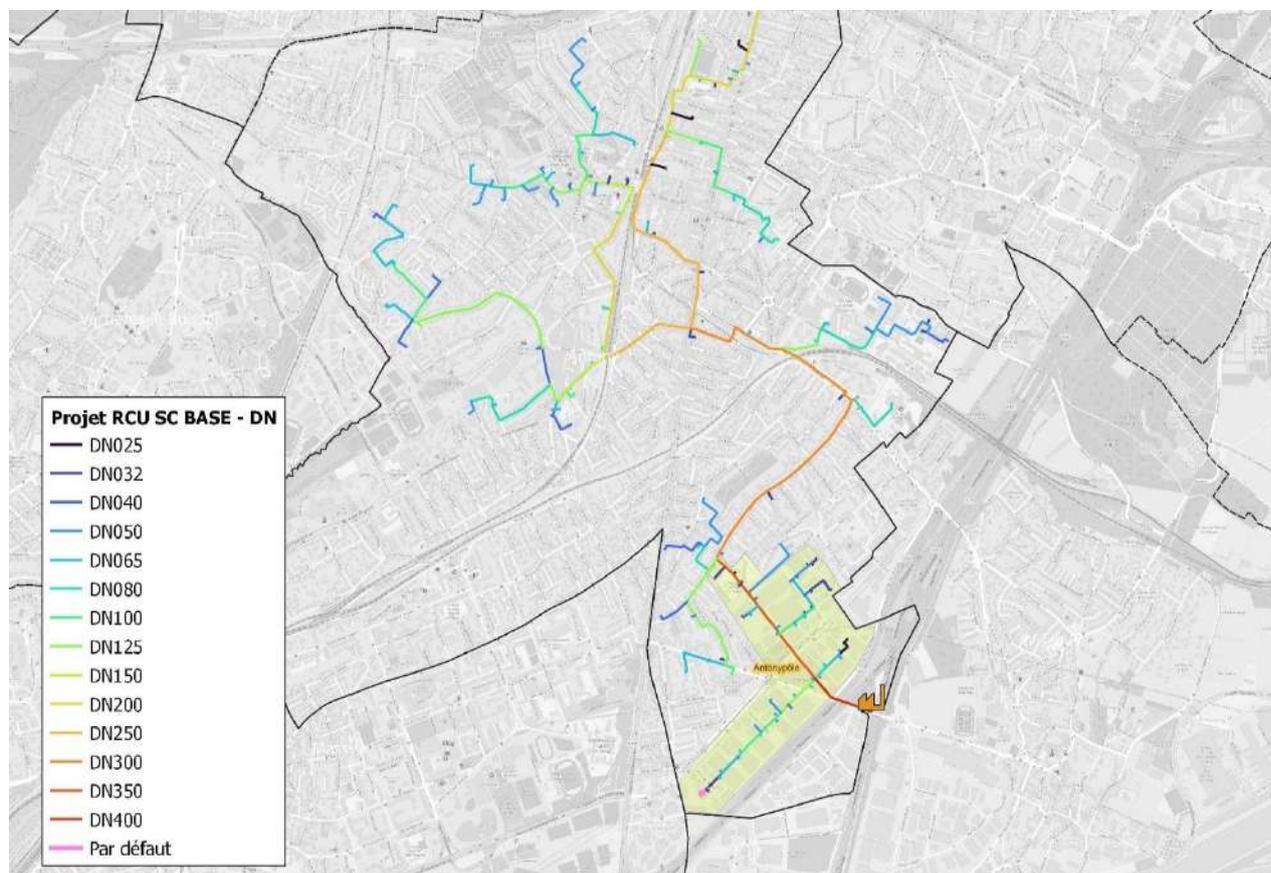
5.1.3 Dimensionnement du réseau

5.1.3.1 Dimensionnement des canalisations

Pour le dimensionnement des canalisations, les hypothèses utilisées sont les suivantes :

- Puissances maximales appelée en sous-station : cf 11.1,
- Température du réseau : 95°C aller - 60°C retour (environ),
- 20 mmCE/ml max pour les pertes de charges linéaires,
- 3 m/s au maximum pour la vitesse dans les canalisations.

Le dimensionnement résultant, réalisé avec le **logiciel Termis**, est présenté sur la cartographie ci-dessous.



La longueur prévisionnelle du réseau est de **21 km**, soit une **densité thermique de 3,5 MWh/ml environ**.

Le tableau présentant la répartition des tuyauteries par DN est présenté ci-dessous.

| DN | Longueur (ml) |
|------------|---------------|
| DN025 | 340 |
| DN032 | 709 |
| DN040 | 1 361 |
| DN050 | 2 605 |
| DN065 | 2 467 |
| DN080 | 1 721 |
| DN100 | 1 819 |
| DN125 | 3 244 |
| DN150 | 633 |
| DN200 | 1 640 |
| DN250 | 1 541 |
| DN300 | 1 862 |
| DN350 | 698 |
| DN400 | 315 |
| TOT | 20 955 |

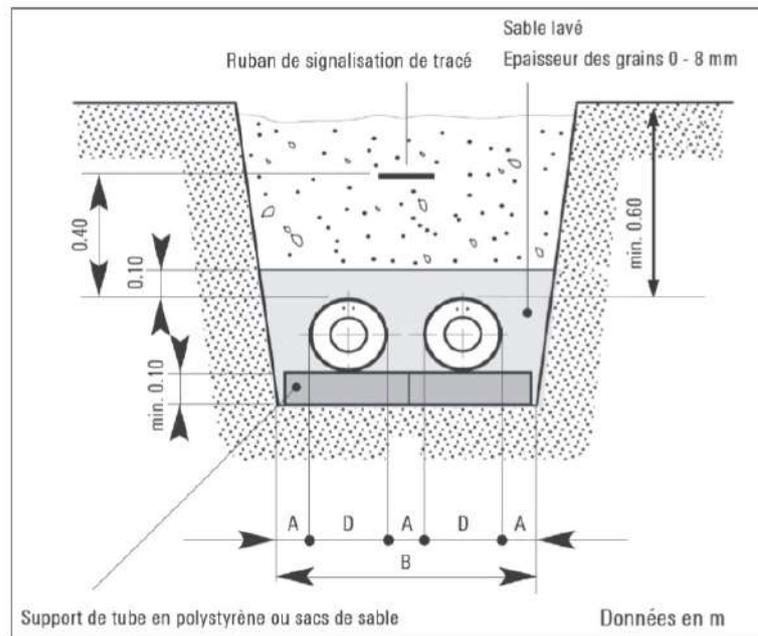
5.1.3.2 Solution technique retenue pour les canalisations

La solution technique envisagée dans cette étude de faisabilité est un réseau composé de canalisations en acier pré-isolé, enterrés sous les voiries. Le rendement du réseau estimé est de 90%.

Les tubes pré-isolés sont constitués d'un tube en acier entouré d'une mousse en polyuréthane (PUR) protégée d'une enveloppe en plastique PEHD (Polyéthylène Haute Densité), rendant l'ensemble résistant aux chocs.

Les dimensions utilisées pour le calcul des tranchées sont les suivantes :

| DN | Ø tube acier (mm) | Epaisseur de la paroi minimale (mm) | Ø gaine extérieure (mm) minimum | Epaisseur de la paroi minimale (mm) |
|--------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| DN 25 | 33,7 | 2,3 | 90 | 3,0 |
| DN 32 | 42,4 | 2,6 | 110 | 3,0 |
| DN40 | 48,3 | 2,6 | 110 | 3,0 |
| DN50 | 60,3 | 2,9 | 125 | 3,0 |
| DN65 | 76,1 | 2,9 | 140 | 3,0 |
| DN80 | 89,9 | 3,2 | 160 | 3,2 |
| DN100 | 114,3 | 3,6 | 200 | 3,4 |
| DN125 | 139,7 | 3,6 | 225 | 3,6 |
| DN150 | 168,3 | 4,0 | 250 | 3,9 |
| DN 200 | 219,1 | 4,5 | 315 | 4,1 |
| DN 250 | 273,1 | 5,0 | 400 | 4,5 |
| DN 300 | 323,9 | 5,6 | 450 | 4,8 |
| DN 350 | 355,6 | 5,6 | 500 | 5,2 |
| DN 400 | 406,4 | 6,3 | 560 | 5,6 |
| DN 450 | 457,0 | 6,3 | 600 | 6,0 |
| DN 500 | 508,0 | 6,3 | 630 | 6,6 |



Le tracé prend en compte la largeur des voiries afin de permettre le passage du réseau de chaleur.

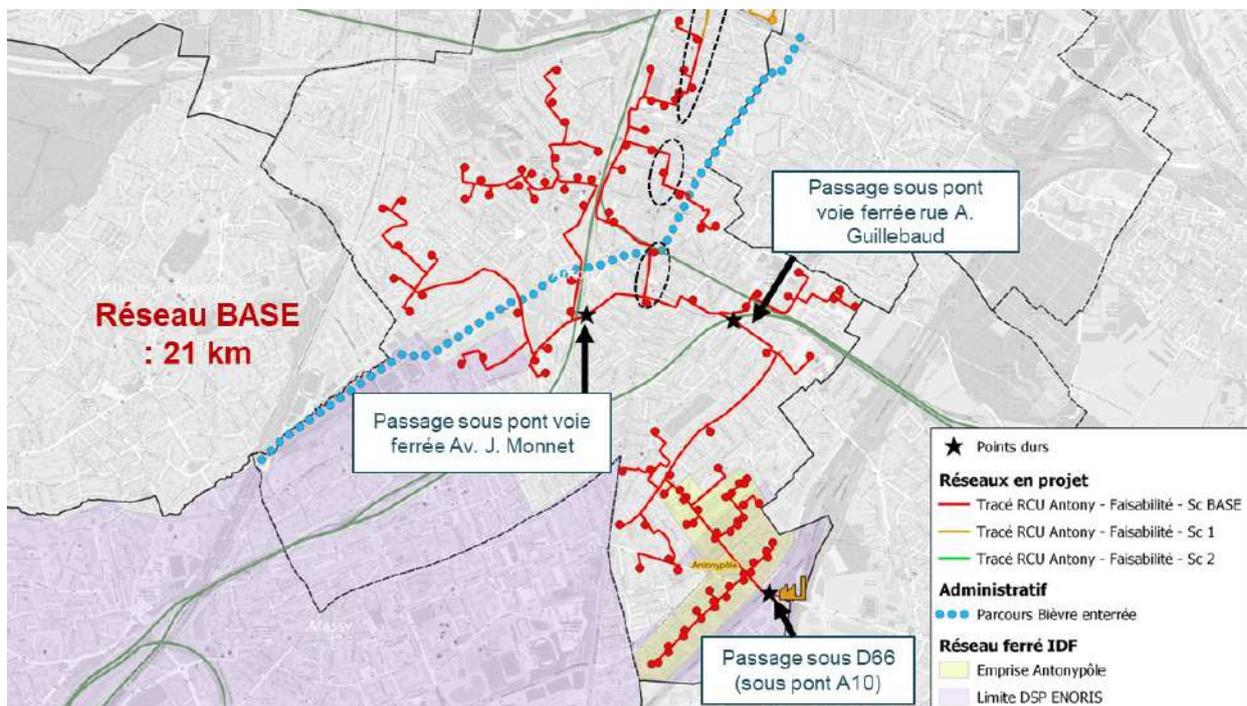
Les photos suivantes illustrent des travaux de pose des canalisations :



5.1.4 Analyse des points durs

La cartographie ci-dessous synthétise l'ensemble des points durs identifiés pour le scénario de BASE, on note principalement :

- Un passage sous le pont du RER C, rue A. Guillebaud,
- Un passage sous le pont voie ferrée RER B avenue J. Monnet,
- Cheminement du réseau sous la D920 (axe fréquenté),
- 4 croisements avec la Bièvre enterrée (mais sur faible longueur),
- 2 zones de croisement avec l'Orlyval (portion enterrée).



Trois points durs (passages compliqués) du réseau de chaleur ont été analysés plus en détail pour le scénario de BASE.

Sur ces emplacements, une demande de DT (Déclaration de projet de Travaux) a été réalisée afin d'identifier les principaux réseaux concessionnaires présents.

L'analyse de ces points durs est fournie en Annexe 3.

5.2 Scenario 1

5.2.1 Dimensionnement des moyens de production et mix énergétique

5.2.1.1 Profil des besoins

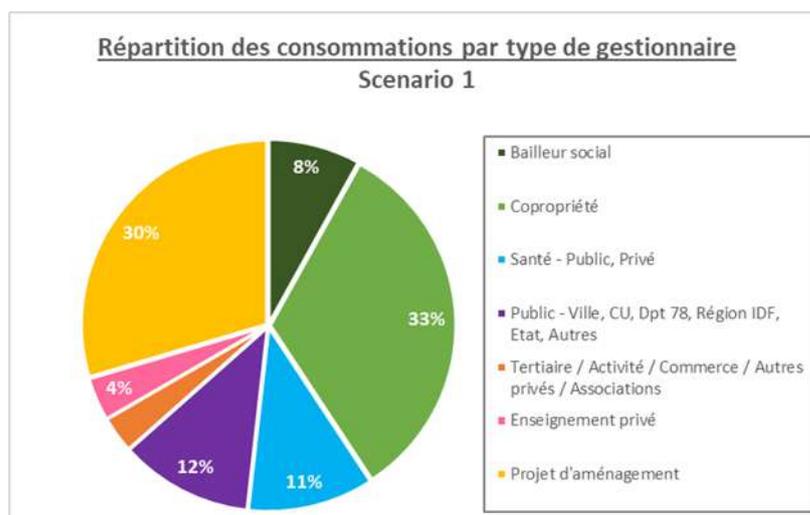
Un profil des besoins énergétiques **au pas de temps horaire** a été réalisé.

Les hypothèses suivantes ont été appliquées :

- Modélisation sur une **année type 2021** (voir 2.5 pour la justification de cette hypothèse),
- Modélisation réalisée pour le **réseau complètement développé**, soit pour l'année **2046**, correspondant à des besoins de :

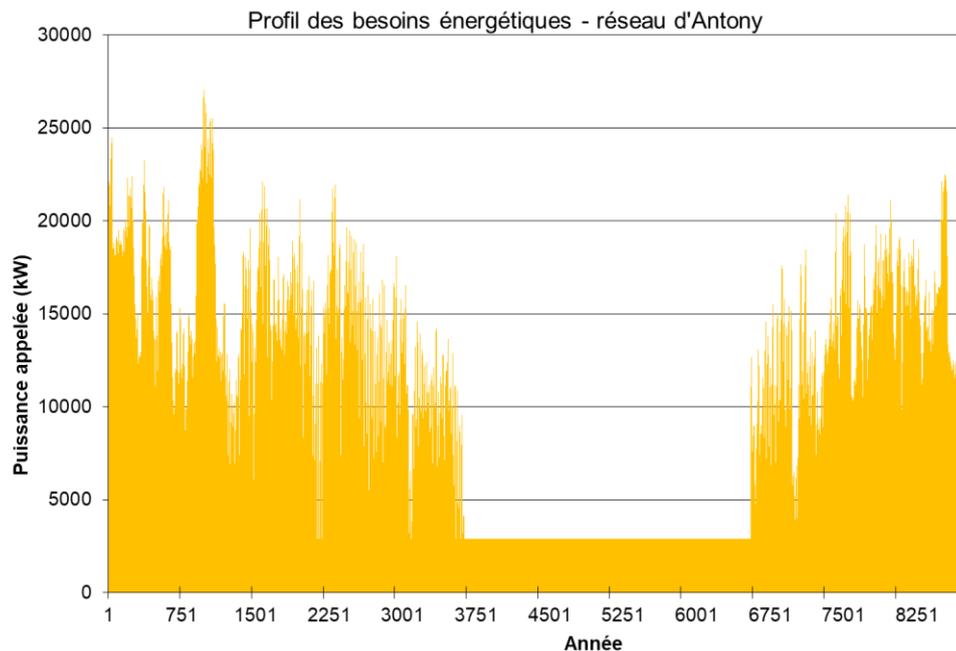
| Conso CH (MWh) | Conso ECS (MWh) | Conso TOT (MWh) |
|----------------|-----------------|-----------------|
| 58 054 | 17 040 | 75 094 |

- **132 points de livraisons**,
- **La répartition suivante par type de gestionnaire :**



- Un **profil d'appel ECS lissé sur l'année**, sur la base du total des besoins annuels,
- Des **réduits de température de chauffage** la nuit, le week-end (pour les bâtiments tertiaires), et pendant les vacances scolaires (pour les bâtiments d'enseignement),
- Une saison de chauffe du **01/10 au 31/05**,
- Un **rendement de distribution** sur le réseau de **90%**.

Ce profil correspond au besoin du réseau de chaleur, en sortie de chaufferie, avec l'hypothèse de rendement présentée ci-dessus.



Cette courbe met en évidence, pour le réseau complètement développé :

- Une pointe d'appel de puissance de **27 046 kW** pour la température extérieure de base de -7°C , soit un foisonnement de 60% par rapport à la somme des puissances en sous-stations,
- Un **talon d'ECS autour de 1 945 kW** hors pertes réseau, et autour de 2 900 kW pertes comprises.

5.2.1.2 Calcul du régime de température du réseau

La **modélisation de la puissance** pouvant être fournie par la géothermie et la ou les éventuelles PAC est liée au régime de température du réseau, il est donc nécessaire d'estimer les températures aller et retour de celui-ci en fonction de la température extérieure.

La **température délivrée par la chaufferie** (température aller) est prise par hypothèse à **95°C par -7°C** extérieure. Cette température pourra être ajustée par la suite lors d'études ultérieures.

La **température retour sur le réseau dépend des régimes de température de chaque point de livraison**.

Les données récupérées pour les différents prospects n'ont permis que très rarement d'obtenir une information précise sur le régime de température du bâtiment.

La plupart des régimes de température sont donc estimés sur la base :

- De **l'année de construction** du bâtiment si connue,
- En prenant une **hypothèse par défaut** d'un régime de température de **80°C aller – 60°C retour** par -7°C sur le réseau secondaire (réseau circulant à l'intérieur du bâtiment).

On considère ensuite un **pincement de 2°C pour l'échangeur en sous-station**, ce qui est généralement l'objectif recherché pour un réseau alimenté principalement par une géothermie.

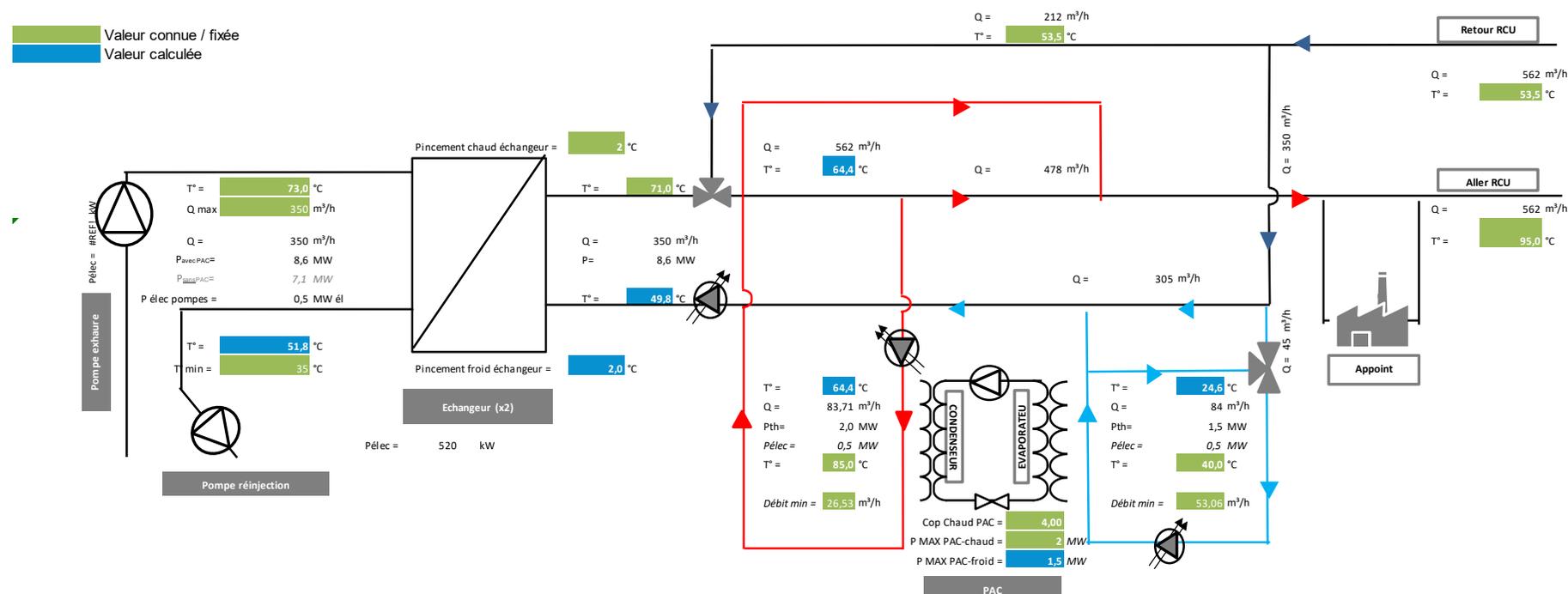
Les courbes de températures aller et retour estimées pour des températures extérieures entre -7°C et 19°C sont présentées dans le tableau ci-dessous.

| T ext (°C) | T aller RCU | T retour chauffage |
|------------|-------------|--------------------|
| -7 | 54 | -7 |
| -6 | 53 | -6 |
| -5 | 52 | -5 |
| -4 | 52 | -4 |
| -3 | 51 | -3 |
| -2 | 50 | -2 |
| -1 | 50 | -1 |
| 0 | 49 | 0 |
| 1 | 48 | 1 |
| 2 | 48 | 2 |
| 3 | 47 | 3 |
| 4 | 46 | 4 |
| 5 | 46 | 5 |
| 6 | 45 | 6 |
| 7 | 45 | 7 |
| 8 | 44 | 8 |
| 9 | 43 | 9 |
| 10 | 43 | 10 |
| 11 | 42 | 11 |
| 12 | 42 | 12 |
| 13 | 41 | 13 |
| 14 | 40 | 14 |
| 15 | 40 | 15 |
| 16 | 39 | 16 |
| 17 | 39 | 17 |
| 18 | 42 | 18 |
| 19 | 42 | 19 |

5.2.1.3 Cascade de production

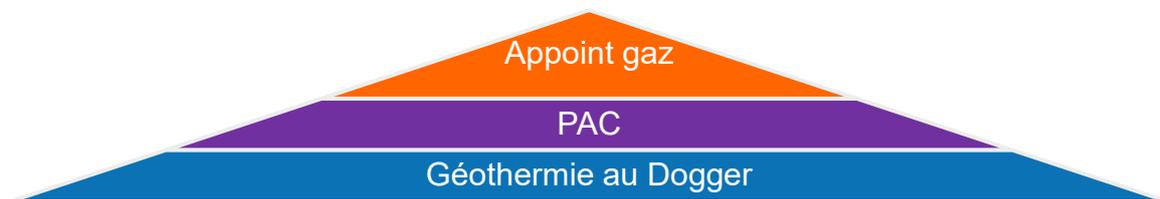
Le schéma utilisé pour la **modélisation de la géothermie profonde et des pompes à chaleur associées** est le suivant.

Les valeurs indiquées sont celles pour un fonctionnement à -7°C extérieur.

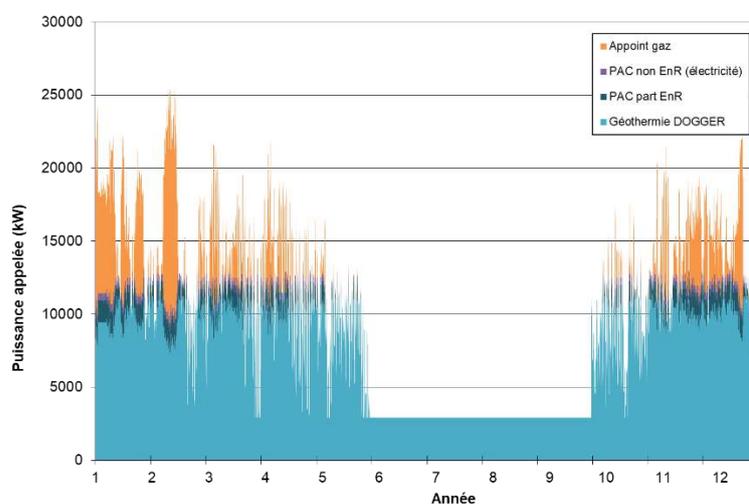


En sortie de boucle géothermale l'**appoint est réalisé par des chaudières gaz**.

L'ordre de priorité des moyens de production est indiqué sur le schéma ci-dessous.



La courbe présentant les appels de puissance sur les différents moyens de production est présentée ci-dessous.



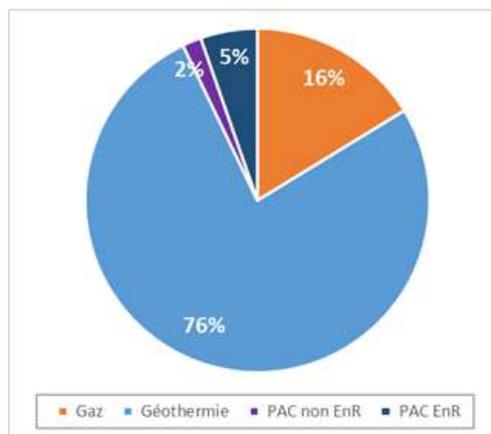
Le dimensionnement et les performances des moyens de production retenus est le suivant :

| Type production | P à installer (MW) | Min technique (%) | Rend. (%) ou COP | Débit max (m3/h) | Débit moyen (m3/h) | T°C production max (°C) | Mode de fonctionnement |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|
| Géothermie profonde | 12 MW d'échangeur | - | COP : 26 | 350 m3/h | 235 m3/h | 71°C | Base |
| PAC | 2 MW (chaud) | 20% puissance max | COP : 4 | 95 m3/h | 75 m3/h | 85°C | Base – complément géothermie |
| Chaudières gaz | 24 MW | 0% puissance max | 92% | - | - | - | Appoint Secours |

La modélisation du scénario 1 montre que l'ajout d'une pompe à chaleur de 2 MW est nécessaire pour atteindre les 80% d'EnR&R.

5.2.1.4 Mixité énergétique

Le taux de couverture EnR&R annuel est de **81,9%** à partir du développement total du réseau.



Les **quantités produites par chaque moyen de production en année établie (2046)** sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

| Type production | Quantité en MWhu/an |
|------------------------------------|----------------------|
| Géothermie profonde | 63 490 |
| PAC – part EnR&R | 4 861 |
| PAC – part non EnR&R (électricité) | 1 620 |
| Chaudières gaz | 13 467 |
| TOTAL | 83 438 MWh/an |

5.2.1.5 Consommations en combustibles et électricité

Les **quantités de combustibles ou d'électricité en entrée de chaufferie** sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

| Type production | Quantités |
|---------------------------------|----------------|
| Electricité pompes géothermales | 2 477 MWhél |
| Electricité PAC | 1 632 |
| Gaz | 16 263 MWh PCS |

5.2.2 Implantation de la chaufferie

5.2.2.1 Estimation des surfaces nécessaires pour le bâtiment chaufferie

À partir de plans de chaufferies existantes ayant les mêmes gammes de puissance, les surfaces estimées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

| Process / Usage | Surface (m ²) |
|--|---------------------------|
| Local hydraulique : Boucle géothermale et pompes réseau | 250 |
| Local PAC | 100 |
| Chaufferie gaz | 300 |
| Local transformateur | 50 |
| Bureaux, salles de réunion et vestiaires | 100 |
| TOTAL Surface chaufferie | 800 m² |

On note qu'une centrale avec 1 voire 2 niveaux est envisageable et permettrait de réduire l'emprise au sol.

5.2.2.2 Estimation de la surface nécessaire pour la plateforme géothermale

L'estimation de la surface nécessaire pour la plateforme géothermale est identique pour tous les scénarios.

Le détail peut être retrouvé au [paragraphe 5.1.2.2](#).

5.2.2.3 Terrain

Le terrain pressenti pour accueillir la centrale géothermique et les équipements d'appoint est identique pour tous les scénarios. Nous renvoyons au [paragraphe 3.1.1](#) pour la cartographie permettant de situer plus précisément ce terrain.

5.2.2.4 Implantation prévisionnelle des équipements

On considère que **l'implantation des différents équipements est identique entre le scénario de BASE et le scénario 1**, la puissance de la chaufferie gaz étant du même ordre.

On considère que le **local PAC est mise en place au R+1 du local hydraulique**, l'emprise au sol n'est donc pas modifiée.

L'implantation détaillée peut être retrouvée au [paragraphe 5.1.2.4](#).

5.2.2.5 Contraintes réglementaires impactant l'implantation

Notre modélisation prévoit une puissance de la chaufferie supérieure à 20 MW, celle-ci serait donc soumise à la **réglementation ICPE 2910A Enregistrement**.

On note que lors de la phase de conception des optimisations pourront être apportées afin de limiter la puissance de la chaufferie en dessous de 20 MW et d'être soumis à la règlement 2910A Déclaration.

La baisse de la puissance à installer en chaufferie pourrait être permise par un appoint/secours depuis le réseau d'Enoris et/ou la récupération de chaudières d'abonnés structurant pour le futur réseau d'Antony.

Les règles d'implantation structurantes sont identiques pour tous les scénarios, la puissance installée étant comprise pour chacun d'entre eux entre 20 et 50 MW. Le détail de ces règles peut être retrouvé au **paragraphe 5.1.2.5**.

On note que dans l'implantation présentée dans le paragraphe 5.2.2.4 la **distance entre la limite de propriété au point le plus proche du bâtiment chaufferie est autour de 15 m**. Une dérogation pourrait donc s'avérer nécessaire, ou le cas échéant un positionnement différent de la chaufferie gaz, vers le Nord du terrain par exemple.

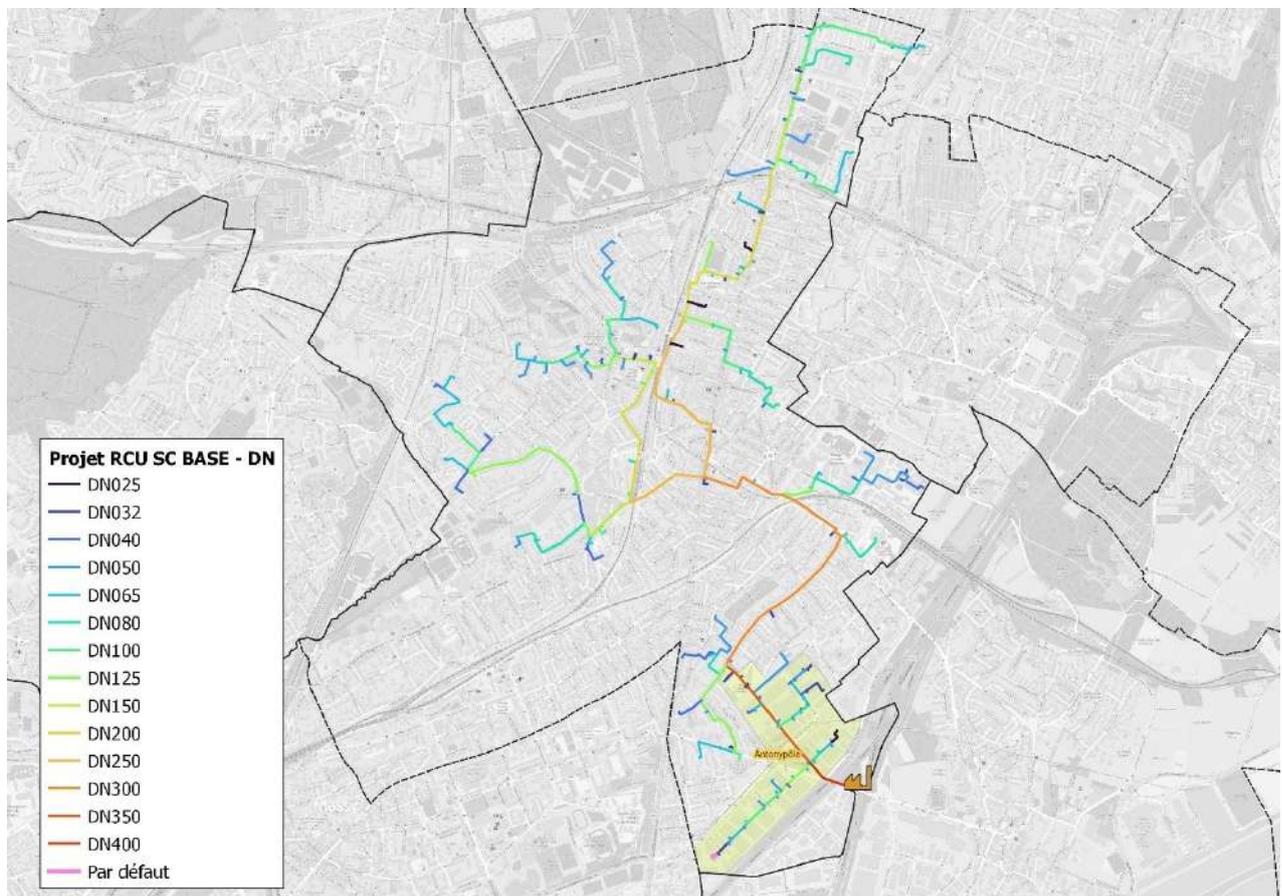
5.2.3 Dimensionnement du réseau

5.2.3.1 Dimensionnement des canalisations

Pour le dimensionnement des canalisations, les hypothèses utilisées sont les suivantes :

- Puissances maximales appelée en sous-station : cf 11.1,
- Température du réseau : 95°C aller - 60°C retour (environ),
- 20 mmCE/ml max pour les pertes de charges linéaires,
- 3 m/s au maximum pour la vitesse dans les canalisations.

Le dimensionnement résultant, réalisé avec le **logiciel Termis**, est présenté sur la cartographie ci-dessous.



La longueur prévisionnelle du réseau est de **24,5 km**, soit une densité thermique de **3,3 MWh/ml** environ.

Le tableau présentant la répartition des tuyauteries par DN est présenté ci-dessous.

| DN | Longueur (ml) |
|------------|---------------|
| DN025 | 340 |
| DN032 | 736 |
| DN040 | 1 448 |
| DN050 | 3 196 |
| DN065 | 2 901 |
| DN080 | 2 191 |
| DN100 | 2 917 |
| DN125 | 3 561 |
| DN150 | 916 |
| DN200 | 1 879 |
| DN250 | 1 541 |
| DN300 | 1 862 |
| DN350 | 698 |
| DN400 | 315 |
| TOT | 24 501 |

5.2.3.2 Solution technique retenue pour les canalisations

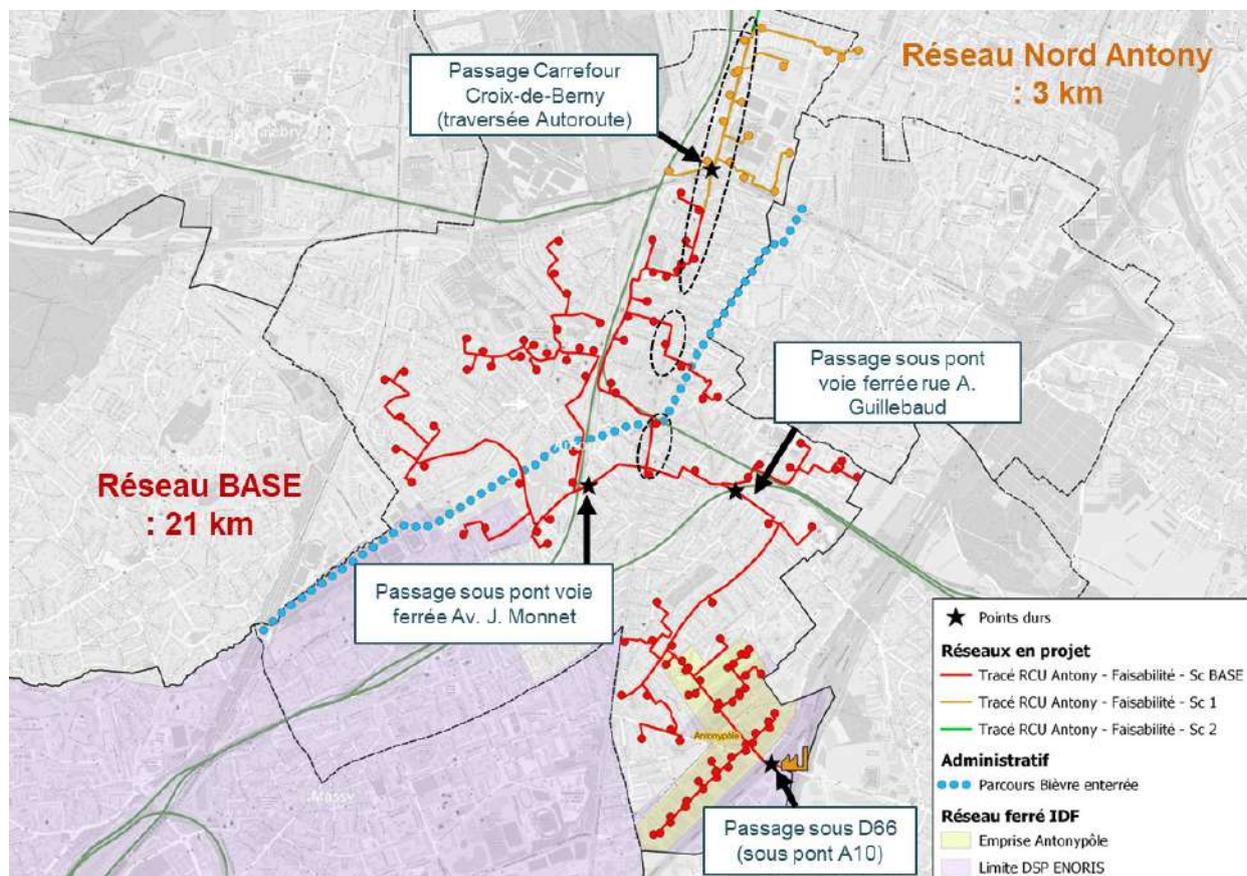
La solution technique envisagée dans cette étude de faisabilité est un réseau composé de canalisations en acier pré-isolé, enterrés sous les voiries. Le rendement du réseau estimé est de 90%.

La description des canalisations et de leur mise en œuvre est identique à celle du scénario de BASE (**voir 5.1.3.2**).

5.2.4 Analyse des points durs

La cartographie ci-dessous synthétise l'ensemble des points durs identifiés pour le scénario de BASE, on note principalement :

- Cheminement sous la D66 et passage sous Autoroute A10 en sortie de centrale jusqu'à Antonympole,
- Un passage sous le pont du RER C, rue A. Guillebaud,
- Un passage sous le pont voie ferrée RER B avenue J. Monnet,
- Un passage du carrefour de la Croix de Berny, au-dessus du tunnel de l'A86
- Cheminement du réseau sous la D920 (axe fréquenté),
- 4 croisements avec la Bièvre enterrée (mais sur faible longueur),
- 2 zones de croisement avec l'Orlyval (portion enterrée).



Quatre points durs (passages compliqués) du réseau de chaleur ont été analysés plus en détail pour le scénario 1.

Sur ces emplacements, une demande de DT (Déclaration de projet de Travaux) a été réalisée afin d'identifier les principaux réseaux concessionnaires présents.

L'analyse de ces points durs est fournie en Annexe 3.

5.3 Scenario 2

5.3.1 Dimensionnement des moyens de production et mix énergétique

5.3.1.1 Profil des besoins

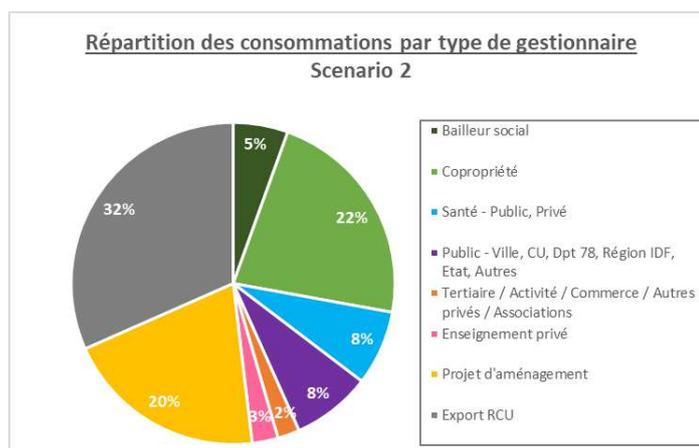
Un profil des besoins énergétiques **au pas de temps horaire** a été réalisé.

Les hypothèses suivantes ont été appliquées :

- Modélisation sur une **année type 2021** (voir 2.5 pour la justification de cette hypothèse),
- Modélisation réalisée pour le **réseau complètement développé**, soit pour l'année **2046**, correspondant à des besoins de :

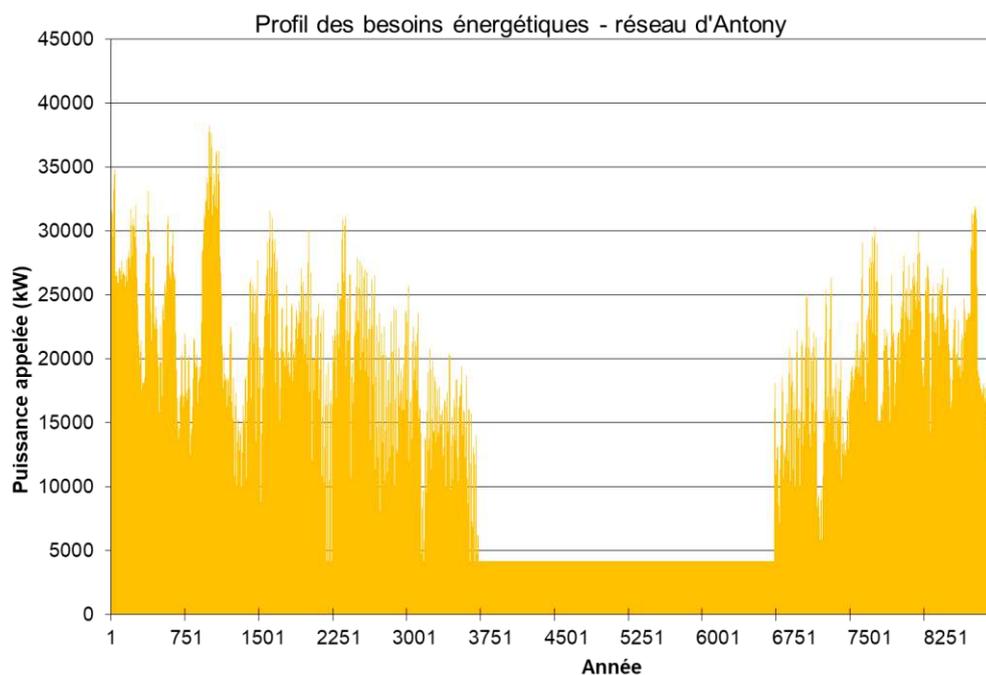
| Conso CH (MWh) | Conso ECS (MWh) | Conso TOT (MWh) |
|----------------|-----------------|-----------------|
| 83 203 | 24 752 | 107 955 |

- **132 points de livraisons** et un point de livraison pour un export vers Bourg-la-Reine,
- **La répartition suivante par type de gestionnaire :**



- Un **profil d'appel ECS lissé sur l'année**, sur la base du total des besoins annuels,
- Des **réduits de température de chauffage** la nuit, le week-end (pour les bâtiments tertiaires), et pendant les vacances scolaires (pour les bâtiments d'enseignement),
- Une saison de chauffe du **01/10 au 31/05**,
- Un **rendement de distribution** sur le réseau de **90%**.

Ce profil correspond au besoin du réseau de chaleur, en sortie de chaufferie, avec l'hypothèse de rendement présentée ci-dessus.



Cette courbe met en évidence, pour le réseau complètement développé :

- Une pointe d'appel de puissance de **38 289 kW** pour la température extérieure de base de -7°C , soit un foisonnement de 60% par rapport à la somme des puissances en sous-stations,
- Un **talon d'ECS autour de 2 826 kW** hors pertes réseau, et autour de 4 200 kW pertes comprises.

5.3.1.2 Calcul du régime de température du réseau

La **modélisation de la puissance** pouvant être fournie par la géothermie et la ou les éventuelles PAC est liée au régime de température du réseau, il est donc nécessaire d'estimer les températures aller et retour de celui-ci en fonction de la température extérieure.

La **température délivrée par la chaufferie** (température aller) est prise par hypothèse à **95°C par -7°C** extérieure. Cette température pourra être ajustée par la suite lors d'études ultérieures.

La **température retour sur le réseau dépend des régimes de température de chaque point de livraison.**

Les données récupérées pour les différents prospects n'ont permis que très rarement d'obtenir une information précise sur le régime de température du bâtiment.

La plupart des régimes de température sont donc estimés sur la base :

- De **l'année de construction** du bâtiment si connue,
- En prenant une **hypothèse par défaut** d'un régime de température de **80°C aller – 60°C retour** par -7°C sur le réseau secondaire (réseau circulant à l'intérieur du bâtiment).

On considère ensuite un **pincement de 2°C pour l'échangeur en sous-station**, ce qui est généralement l'objectif recherché pour un réseau alimenté principalement par une géothermie.

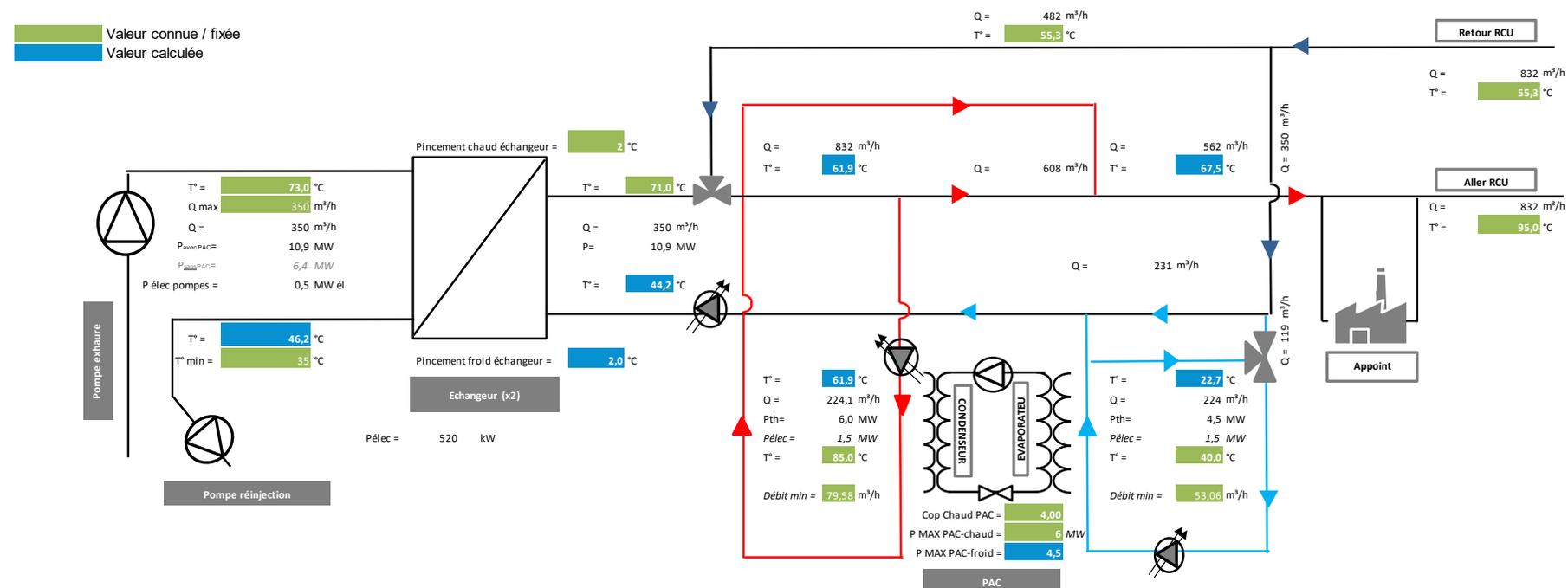
Les courbes de températures aller et retour estimées pour des températures extérieures entre -7°C et 19°C sont présentées dans le tableau ci-dessous.

| T ext (°C) | T aller RCU |
|------------|-------------|
| -7 | 55 |
| -6 | 55 |
| -5 | 54 |
| -4 | 53 |
| -3 | 53 |
| -2 | 52 |
| -1 | 51 |
| 0 | 50 |
| 1 | 50 |
| 2 | 49 |
| 3 | 48 |
| 4 | 48 |
| 5 | 47 |
| 6 | 46 |
| 7 | 46 |
| 8 | 45 |
| 9 | 44 |
| 10 | 44 |
| 11 | 43 |
| 12 | 42 |
| 13 | 42 |
| 14 | 41 |
| 15 | 40 |
| 16 | 40 |
| 17 | 39 |
| 18 | 42 |
| 19 | 42 |

5.3.1.3 Cascade de production

Le schéma utilisé pour la **modélisation de la géothermie profonde et des pompes à chaleur associées** est le suivant.

Les valeurs indiquées sont celles pour un fonctionnement à -7°C extérieur.

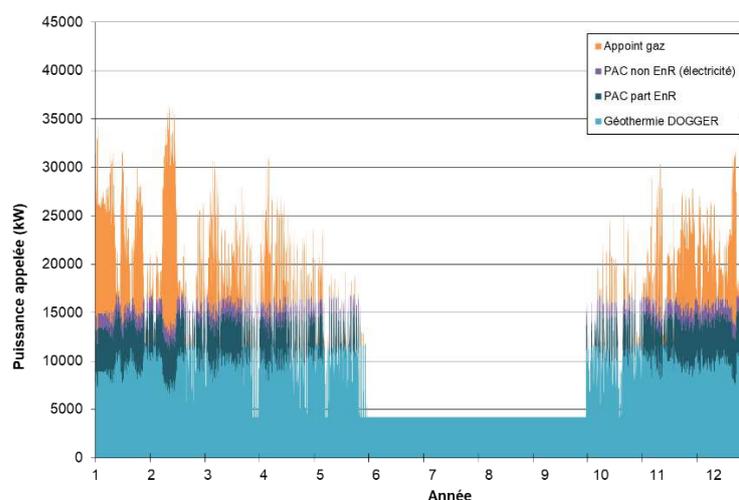


En sortie de boucle géothermale **l'appoint est réalisé par des chaudières gaz.**

L'ordre de priorité des moyens de production est indiqué sur le schéma ci-dessous.



La courbe présentant les appels de puissance sur les différents moyens de production est présentée ci-dessous.



Le dimensionnement et les performances des moyens de production retenus est le suivant :

| Type production | P à installer (MW) | Min technique (%) | Rend. (%) ou COP | Débit max (m3/h) | Débit moyen (m3/h) | T°C production max (°C) | Mode de fonctionnement |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|
| Géothermie profonde | 12 MW d'échangeur | - | COP : 24 | 350 m3/h | 264 m3/h | 71°C | Base |
| PAC | 6 MW (chaud) | 20% puissance max | COP : 4 | 226 m3/h | 187 m3/h | 85°C | Base – complément géothermie |
| Chaudières gaz | 32 MW | 0% puissance max | 92% | - | - | - | Appoint Secours |

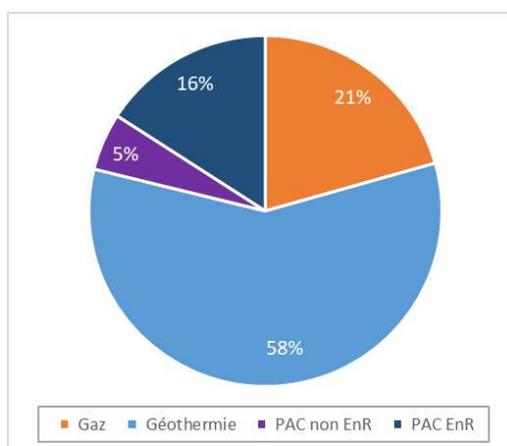
La modélisation du scénario 2 montre que l'ajout d'une pompe à chaleur de 6 MW est nécessaire pour atteindre environ 74% d'EnR&R.

On note qu'il s'agit du taux d'EnR&R pouvant être atteint avec un débit maximum de 350 m³/h pour la géothermie. Cette hypothèse est conservatrice, les modélisations réalisées dans l'étude sous-sol montrant que **la mise en place d'une architecture en surdiamètre permettrait d'atteindre un débit de 450 m³/h.**

Nous n'avons pas retenu cette hypothèse dans nos modélisations car le recours à un surdiamètre n'est pas confirmé à date, cependant les simulations montrent que ce débit permettrait d'atteindre un taux d'EnR&R équivalent au scénario de BASE et au scénario 1.

5.3.1.4 Mixité énergétique

Le taux de couverture EnR&R annuel est de **74%** à partir du développement total du réseau.



Les **quantités produites par chaque moyen de production en année établie (2046)** sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

| Type production | Quantité en MWhu/an |
|---|-----------------------|
| Géothermie profonde | 69 849 |
| PAC – part EnR&R | 19 039 |
| PAC – part non EnR&R (électricité) | 6 346 |
| Chaudières gaz | 24 716 |
| TOTAL | 119 950 MWh/an |

5.3.1.5 Consommations en combustibles et électricité

Les **quantités de combustibles ou d'électricité en entrée de chaufferie** sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

| Type production | Quantités |
|--|----------------|
| Electricité pompes géothermales | 2 893 MWhél |
| Electricité PAC | 6 410 |
| Gaz | 29 848 MWh PCS |

5.3.2 Implantation de la chaufferie

5.3.2.1 Estimation des surfaces nécessaires pour le bâtiment chaufferie

À partir de plans de chaufferies existantes ayant les mêmes gammes de puissance, les surfaces estimées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

| Process / Usage | Surface (m ²) |
|--|----------------------------|
| Local hydraulique : Boucle géothermale et pompes réseau | 250 |
| Local PAC | 200 |
| Chaufferie gaz | 400 |
| Local transformateur | 50 |
| Bureaux, salles de réunion et vestiaires | 100 |
| TOTAL Surface chaufferie | 1 000 m² |

On note qu'une centrale avec 1 voire 2 niveaux est envisageable et permettrait de réduire l'emprise au sol.

5.3.2.2 Estimation de la surface nécessaire pour la plateforme géothermale

L'estimation de la surface nécessaire pour la plateforme géothermale est identique pour tous les scénarios.

Le détail peut être retrouvé au [paragraphe 5.1.2.2](#).

5.3.2.3 Terrain

Le terrain pressenti pour accueillir la centrale géothermique et les équipements d'appoint est identique pour tous les scénarios.

Nous renvoyons au [paragraphe 3.1.1](#) pour la cartographie permettant de situer plus précisément ce terrain.

Le terrain identifié est actuellement propriété de la DIRIF.

5.3.2.4 Implantation prévisionnelle des équipements

Un projet d'implantation des différents équipements s'appuyant sur le positionnement des têtes de puits et de la plateforme géothermale défini par l'étude d'Antea est présenté ci-dessous pour le scenario 2.



On considère que le **local PAC est mise en place au R+1 du local hydraulique**, l'emprise au sol n'est donc pas modifiée pour cette partie du process. **L'emprise au sol de la chaufferie gaz est un peu plus importante** que pour le scenario de BASE et le scenario 1.

5.3.2.5 Contraintes réglementaires impactant l'implantation

Notre modélisation prévoit une puissance de la chaufferie supérieure à 20 MW, celle-ci serait donc soumise à la **réglementation ICPE 2910A Enregistrement**.

On note que lors de la phase de conception des optimisations pourront être apportées afin de limiter la puissance de la chaufferie en dessous de 20 MW et d'être soumis à la règlement 2910A Déclaration.

La baisse de la puissance à installer en chaufferie pourrait être permise par un appoint/secours depuis le réseau d'Enoris et/ou la récupération de chaudières d'abonnés structurant pour le futur réseau d'Antony.

Les règles d'implantation structurantes sont identiques pour tous les scenarios, la puissance installée étant comprise pour chacun d'entre eux entre 20 et 50 MW. Le détail de ces règles peut être retrouvé au **paragraphe 5.1.2.5**.

On note que dans l'implantation présentée dans le paragraphe 5.3.2.4 la **distance entre la limite de propriété au point le plus proche du bâtiment chaufferie est autour de 14 m**. Une dérogation pourrait donc s'avérer nécessaire, ou le cas échéant un positionnement différent de la chaufferie gaz, vers le Nord du terrain par exemple.

5.3.3 Dimensionnement du réseau

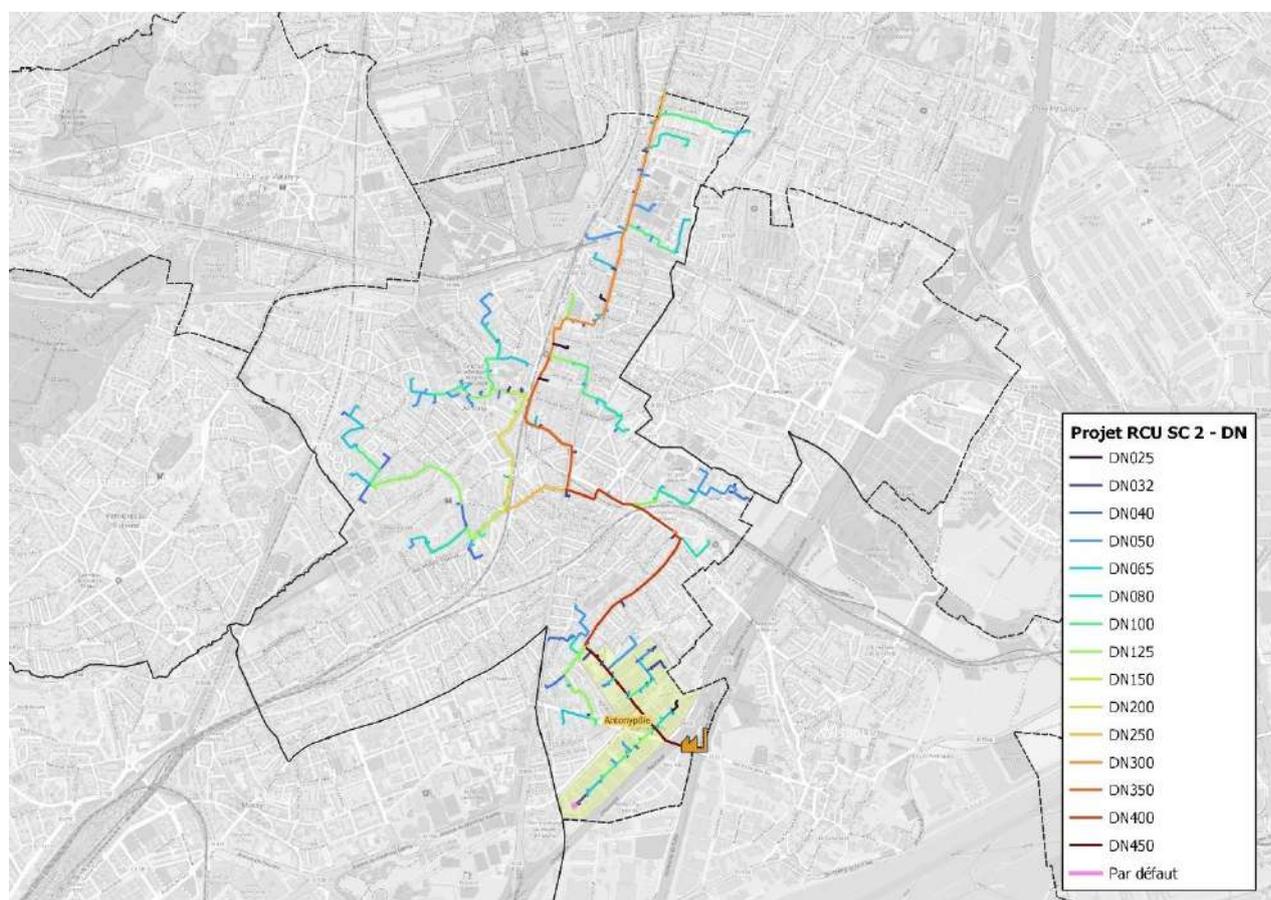
5.3.3.1 Dimensionnement des canalisations

Pour le dimensionnement des canalisations, les hypothèses utilisées sont les suivantes :

- Puissances maximales appelée en sous-station : cf 11.1,
- Température du réseau : 95°C aller - 60°C retour (environ),
- 20 mmCE/ml max pour les pertes de charges linéaires,
- 3 m/s au maximum pour la vitesse dans les canalisations.

Par ailleurs, **un point de livraison unique est considéré pour l'export vers la ville de Bourg-la-Reine.**

Le dimensionnement résultant, réalisé avec le **logiciel Termis**, est présenté sur la cartographie ci-dessous.



La longueur prévisionnelle du réseau est de **24,6 km**, soit une densité thermique de **4,8 MWh/ml environ**.

Le tableau présentant la répartition des tuyauteries par DN est présenté ci-dessous.

| DN | Longueur (ml) |
|------------|---------------|
| DN025 | 340 |
| DN032 | 736 |
| DN040 | 1 448 |
| DN050 | 3 196 |
| DN065 | 2 902 |
| DN080 | 2 192 |
| DN100 | 2 648 |
| DN125 | 3 246 |
| DN150 | 633 |
| DN200 | 732 |
| DN250 | 590 |
| DN300 | 1 990 |
| DN350 | 1 098 |
| DN400 | 1 845 |
| DN450 | 1 013 |
| TOT | 24 609 |

5.3.3.2 Solution technique retenue pour les canalisations

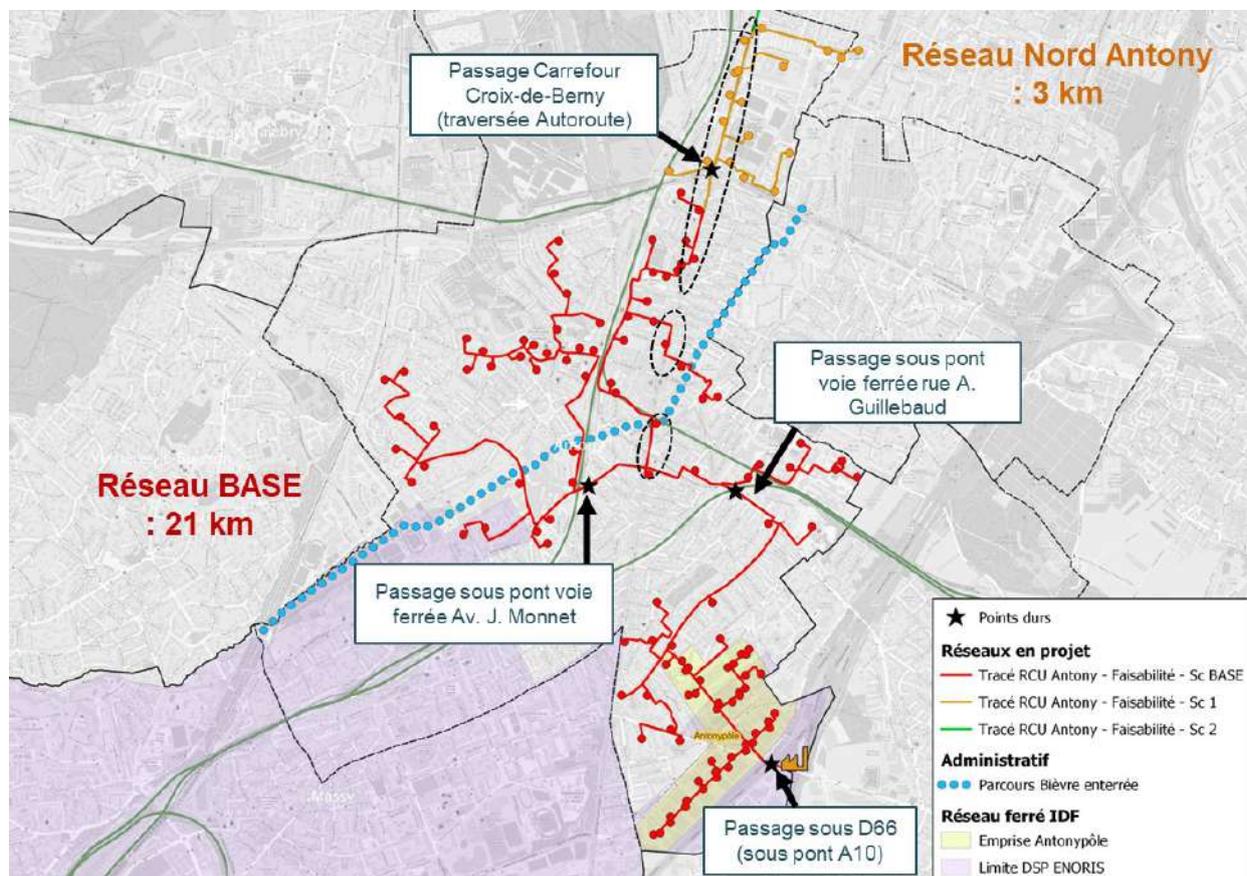
La solution technique envisagée dans cette étude de faisabilité est un réseau composé de canalisations en acier pré-isolé, enterrés sous les voiries. Le rendement du réseau estimé est de 90%.

La description des canalisations et de leur mise en œuvre est identique à celle du scénario de BASE (voir 5.1.3.2).

5.3.4 Analyse des points durs

La cartographie ci-dessous synthétise l'ensemble des points durs identifiés pour le scénario 2, on note principalement :

- Cheminement sous la D66 et passage sous Autoroute A10 en sortie de centrale jusqu'à Antonympole,
- Un passage sous le pont du RER C, rue A. Guillebaud,
- Un passage sous le pont voie ferrée RER B avenue J. Monnet,
- Un passage du carrefour de la Croix de Berny, au-dessus du tunnel de l'A86
- Cheminement du réseau sous la D920 (axe fréquenté),
- 4 croisements avec la Bièvre enterrée (mais sur faible longueur),
- 2 zones de croisement avec l'Orlyval (portion enterrée).



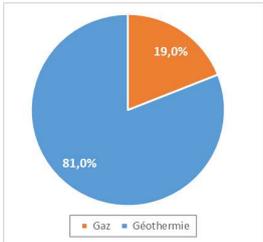
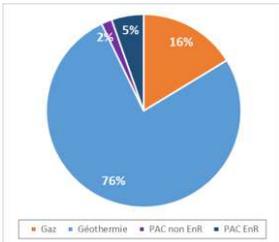
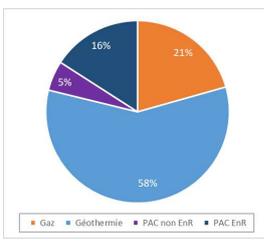
Quatre points durs (passages compliqués) du réseau de chaleur ont été analysés plus en détail pour le scénario 2.

Sur ces emplacements, une demande de DT (Déclaration de projet de Travaux) a été réalisée afin d'identifier les principaux réseaux concessionnaires présents.

L'analyse de ces points durs est fournie en Annexe 3.

5.4 Synthèse de l'analyse technique des scénarios

Un tableau synthétisant l'analyse énergétique et technique des scénarios est présenté ci-dessous.

| | Scenario BASE Année pic conso : 2046 | Scenario 1 Année pic conso : 2046 | Scenario 2 Année pic conso : 2046 | Moyenne nationale (2022) |
|---------------------------------------|---|--|--|-----------------------------|
| Nombre de points de livraison | 115 | 132 | 132 + 1 export | |
| Besoins en SST (MWh) | 68 383 | 75 094 | 107 955 | - |
| Production en sortie chaufferie (MWh) | 75 981 | 83 438 | 119 950 | - |
| Mixité estimée |  |  |  | - |
| Taux d'EnR&R | 81 % | 82 % | 74 % | 66,5% |
| Puissance production installée | 12 MW échangeurs géo 24 MW d'appoint-secours gaz centralisé + recours probable import ENORIS et délestages | 12 MW échangeurs géo 2 MW PAC 24 MW d'appoint-secours gaz centralisé + recours probable import ENORIS et délestages | 12 MW échangeurs géo 6 MW PAC 32 MW d'appoint-secours gaz centralisé + recours probable import ENORIS et délestages | - |
| Longueur réseau | 21 km | 24,5 km | 24,6 km | - |
| Densité estimée | 3,5 MWh/ml | 3,3 MWh/ml | 4,8 MWh/ml | - |

6 BILAN ENVIRONNEMENTAL DES SCENARIOS

6.1 Valeurs Limites d'Émission

La chaufferie ayant une puissance de production > 20 MW PCI quel que soit le scénario retenu, elle sera soumise à Enregistrement 2910A et devra se conformer à l'arrêté du 03 août 2018.

Pour les installations nouvelles, les Valeurs Limites d'Émission sont les suivantes :

| | SO2 (mg/Nm3) | NOX (mg/Nm3) | Poussières (mg/Nm3) | CO (mg/Nm3) |
|-------------|--------------|--------------|---------------------|-------------|
| Gaz naturel | | 100 | | 100 |

Conformément à la réglementation, les émissions seront enregistrées en continu par une baie d'analyse et des mesures périodiques des polluants seront réalisées tous les ans par un organisme agréé.

6.2 Bilan carbone

Le bilan carbone du réseau de chaleur est le suivant :

| | Scénario BASE Année pic conso : 2046 | Scénario 1 Année pic conso : 2046 | Scénario 2 Année pic conso : 2046 |
|--|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Tonnes de CO2 émises (chaufferie gaz) (t CO2/an) | 3 275 | 3 057 | 5 611 |
| Contenu CO2 méthode ACV (kg CO2/MWh) | 48 | 41 | 52 |

| | | | |
|---|--------|--------|--------|
| Tonnes de CO2 émise situation de référence (chaudières gaz à condensation – rendement 100%) (t CO2) | 15 523 | 17 046 | 24 506 |
| Tonnes de CO2 évitées (t CO2) | 12 248 | 13 989 | 18 895 |

La situation de référence est calculée sur la base de l'énergie livrée en sous-station qui serait produite à partir de chaudières gaz à condensation, dont le rendement de référence est considéré à 100%.

Le facteur d'émission de CO2 en méthode ACV pour le gaz naturel est de 0,227 tCO2/MWh PCI.

Le réseau de chaleur permet donc **d'éviter entre 12 et 19 ktonnes de CO2 par an** selon le scénario, soit une réduction de 79% à 77% par rapport à la situation de référence.

7 ANALYSE ÉCONOMIQUE DES SCÉNARIOS

7.1 Investissements

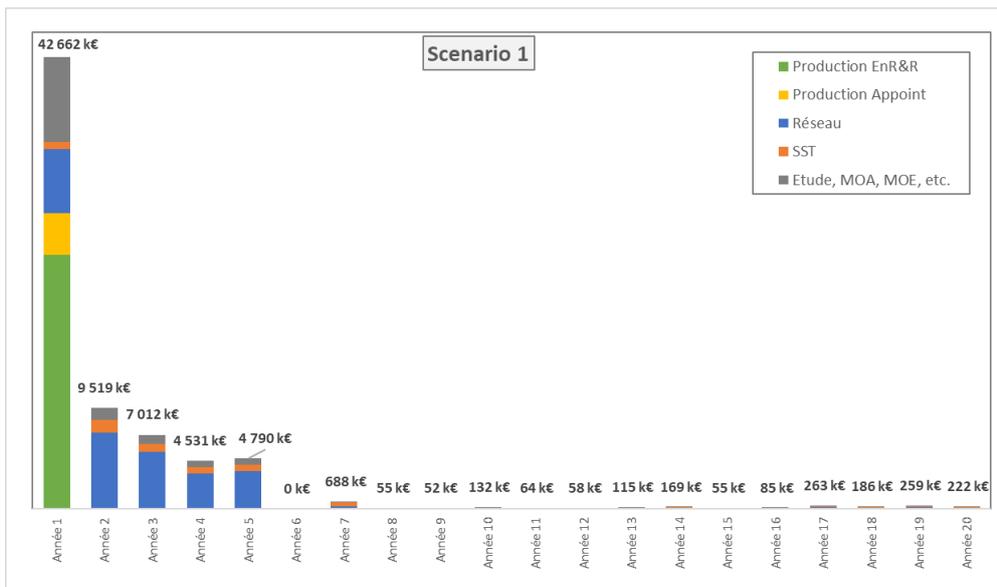
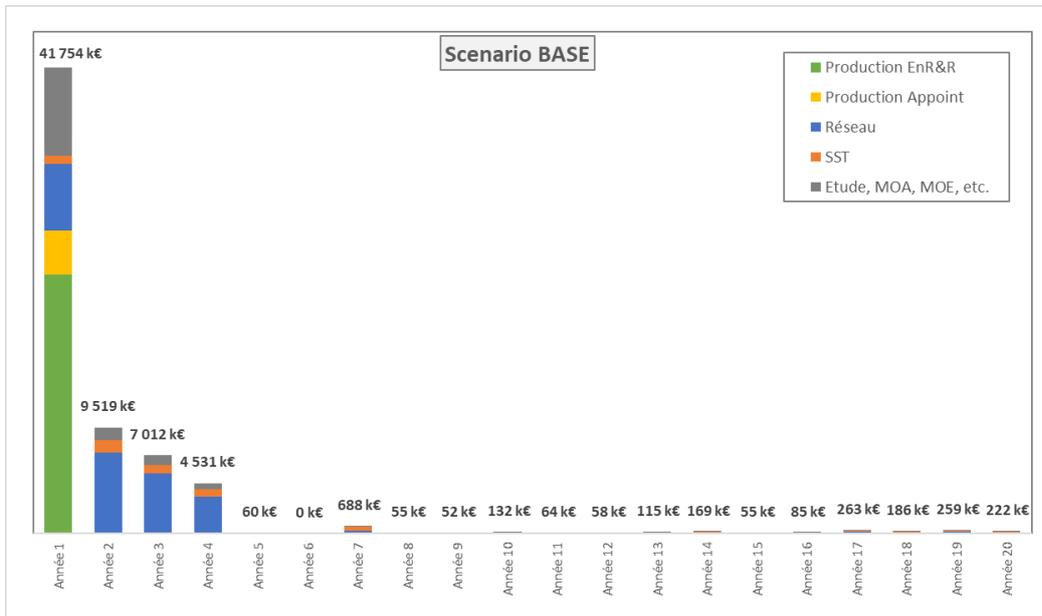
Les investissements ont été estimés sur la base de ratios internes et de chiffrages réels d'opérations récentes.

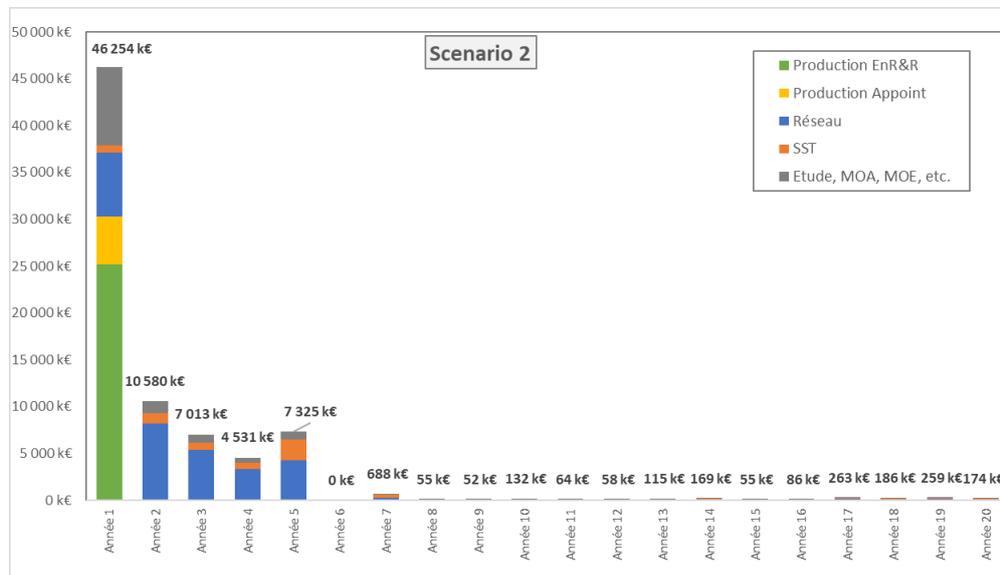
La synthèse des investissements totaux pour chaque scénario ainsi que les quantités correspondantes est présentée dans le tableau ci-dessous.

| | | Sc BASE | | Sc 1 | | Sc 2 | | |
|---|--|---|----------------|----------|----------------|----------|----------------|-------|
| | | Quantité | Coût (k€ HT) | Quantité | Coût (k€ HT) | Quantité | Coût (k€ HT) | |
| Réseau et sous-stations | Réseau | 21 km | 23 064 | 24,5 km | 26 558 | 24,6 km | 28 968 | |
| | Sous-stations | 115 | 4 409 | 134 | 5 083 | 135 | 6 583 | |
| | TOT Réseau et SST | - | 27,5 M€ | - | 31,6 M€ | - | 35,6 M€ | |
| Moyens de production | Production EnR | Forage doublet au DOGGER | 14 000 | - | 14 000 | - | 14 000 | |
| | | Surcoût multidrain | 1 600 | - | 1 600 | - | 1 600 | |
| | | Boucle géothermale | 2x6 MW | 2 200 | 2x6 MW | 2 200 | 2x6 MW | 2 200 |
| | | PAC | - | - | 1x2 MW | 350 | 3x2 MW | 1 050 |
| | | Equipements électriques | - | 2 200 | - | 2 200 | - | 2 200 |
| | | Supervision | - | 200 | - | 200 | - | 200 |
| | | Plateforme et VRD | - | 1 200 | - | 1 200 | - | 1 200 |
| | Appoint Gaz | Génie civil centrale - partie géo+PAC | 400 m2 | 1 800 | 500 m2 | 2 250 | 600 m2 | 2 700 |
| | | Process gaz appoint-secours | 3x8 MW | 2 357 | 3x8 MW | 2 357 | 4x8 MW | 3 142 |
| | | Génie civil centrale - partie appoint gaz | 300 m2 | 1 575 | 300 m2 | 1 575 | 400 m2 | 2 025 |
| | TOTAL Moyens de production | - | 27,1 M€ | - | 27,9 M€ | - | 30,3 M€ | |
| Etudes, MOE, AMO, Aléas | Coût des études, MOE (5%), AMO (3,5%), Aléas (5%), Assurance SAF | - | 10,7 M€ | - | 11,3 M€ | - | 12,2 M€ | |
| TOTAL investissements hors subventions (k€ HT) | | - | 65,3 M€ | - | 70,9 M€ | - | 78,1 M€ | |

Ces investissements sont phasés en fonction du développement du réseau.

Le phasage des investissements pour chaque scénario est présenté sur les graphes ci-dessous.





A noter que le foncier destiné à accueillir la centrale a été considéré comme pouvant être acquis à titre gratuit.

7.2 Aides au financement

7.2.1 Fonds chaleur ADEME

Le **projet sera éligible au fonds chaleur** pour l'installation de la centrale géothermique et pour la création du réseau de chaleur et des sous-stations :

- Le réseau est alimenté par minimum 65% d'ENR&R,
- Le projet respecte l'ordre de choix des énergies renouvelables préconisé par la démarche EnR'choix,
- La densité thermique est supérieure à 1,5 MWh/ml,

La production de chaleur par la biomasse étant supérieure à 12 000 MWh/an, l'aide sera calculée sur la base de la **méthode par ratio en fonction du nombre de MWh EnR&R injectés dans le réseau**, décrite dans les conditions d'éligibilité du Fonds Chaleur 2025.

Pour la géothermie profonde les conditions de financement sont les suivantes :

| | Méthode de calcul par MWhEnR&R injecté | |
|---|--|-----------------------------------|
| | Taux d'aide max | Ratio en aide/MWhEnR&R injecté/an |
| Cas pour calcul plafond | | Géothermie profonde |
| Cas de BASE | 45% | 20 €/MWh EnR&R injecté sur 20 ans |
| Cas chaleur fatale industrielle sans aide à la production | 50% | |
| Cas avec gouvernance citoyenne du projet | 50% | |
| Cas création RC avec taux EnR&R >90% | 55% | |

On note que le ratio de 20 € MWh EnR&R injecté est un maximum, et que selon les conditions 2025 du Fonds Chaleur l'aide versée ne pourra pas aboutir à un prix moyen de la chaleur inférieur à 90 € TTC/MWh.

Les montants de subventions Fonds chaleur estimés pour chaque scénario selon cette méthodologie sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

| | Scénario BASE Année pic conso : 2046 | Scénario 1 Année pic conso : 2046 | Scénario 2 Année pic conso : 2046 |
|---|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Montant prévisionnel Fonds Chaleur (k€) | 20 985 | 23 160 | 21 536 |
| % des investissements | 32% | 33% | 28% |

On constate que la limite de prix inférieure de 90 € TTC/MWh induit des aides un peu moins importantes pour le scénario 2.

7.2.1 CEE

Le raccordement des bâtiments tertiaires et résidentiels existants sont éligibles aux CEE via les fiches :

- BAR-TH-137 : raccordement d'un bâtiment résidentiel à un réseau de chaleur
- BAT-TH-127 : raccordement d'un bâtiment tertiaire à un réseau de chaleur

Le montant de CEE estimés pour chaque scénario est indiqué dans le tableau ci-dessous.

| | Scenario BASE Année pic conso : 2046 | Scenario 1 Année pic conso : 2046 | Scenario 2 Année pic conso : 2046 |
|-----------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| CEE raccordement (k€) | 1 736 | 2 106 | 2 106 |
| % des investissements | 2,7% | 3% | 2,7% |

Ces montants sont estimés sur la base d'un prix du MWh cumac de **8 € HT/MWh cumac**.

L'impact des CEE sera pris en compte par l'ADEME dans l'analyse économique.

7.2.2 Participation aménageur sur Antonypole

Il est prévu une **participation de l'aménageur d'Antonypole au projet, à hauteur de 5 520 k€**.

Ce montant vient en diminution des investissements.

7.3 Compte d'exploitation prévisionnel

Le compte d'exploitation prévisionnel a été établi sur la base des hypothèses suivantes :

Charge du R1 :

- Durée du CEP : **25 ans**
- Baisse des consommations et des puissances souscrites dans le temps (voir **paragraphe 2.6**)
- Rendement des chaudière gaz : **92%**
- Rendement réseau : **90%**
- Coût du gaz : **47,52 €HT/MWh PCS** : PEG à 40 €HT/MWh PCS – Coût part fixe : 6 €HT/MWh PCS - TICGN réduit à 1,52 €HT/MWh PCS car la chaufferie gaz sera soumise à quotas
- Coût de l'électricité : **113 €HT/MWhé**
- Coût du CO2 : **80 €HT/tonne**

Charge du R21 :

- Coût de l'électricité : **113 €HT/MWhé**

Charge du R22 :

- Coût de la sous-traitance, de la fourniture, des contrôles règlementaires, et de la main d'œuvre : **estimé par ratio**
- Impôts, taxes et assurances
- Redevances d'occupation et de contrôle estimées à **70 k€HT environ**
- **Marge appliquée** de manière à atteindre un **TRI du projet de 8%**

Charges du R23 :

- **Estimation** : sur la base de retours d'expérience internes pour la géothermie et les PAC, et en pourcentage de l'investissement pour l'appoint gaz et les équipements de distribution (entre 1 et 2% de l'investissement)

Charges du R24 :

- **Annuités calculées** en prenant en compte le phasage des investissements et un **taux d'emprunt de 4,5% sur 25 ans**.

Recettes du R25 :

- Le terme R25 a été calculé sur la base de **l'amortissement des subventions Fonds Chaleur sur 25 ans**. Il s'agit d'un terme négatif qui vient en diminution du R24.

Les CEP détaillés des 3 scénarios sont fournis en **Annexe 4**.

7.4 Prix de la chaleur

7.4.1 Droits de raccordement

Dans le cadre de notre analyse économique nous considérons les hypothèses suivantes concernant les droits de raccordement :

- **Pour les bâtiments existants** : les droits de raccordements sont considérés comme **équivalents au montant des CEE raccordements** obtenus pour chaque abonné. Par conséquent le coût du raccordement pour les bâtiments existants est nul, ce qui permet de favoriser la commercialisation du réseau.
- **Pour les bâtiments neufs** : des droits de raccordement de **200 €/kW souscrit** sont appliquées (concerne essentiellement Antonypole)

7.4.2 Structure tarifaire

La structure tarifaire classique d'un réseau de chaleur est composée :

- d'un **terme R1 (part variable)** : représentant le prix de l'énergie calorifique consommée et mesurée au compteur de la sous-station, exprimé en €/MWh
- d'un **terme R2 (part fixe)** : représentant le prix de l'abonnement, exprimé en €/kW souscrit par l'abonné.

La tarification du réseau de chaleur a été calculé en fonction des différentes charges, à lesquelles est appliqué une marge pour atteindre un **TRI projet (taux de rentabilité interne) avant impôt de 8%**.

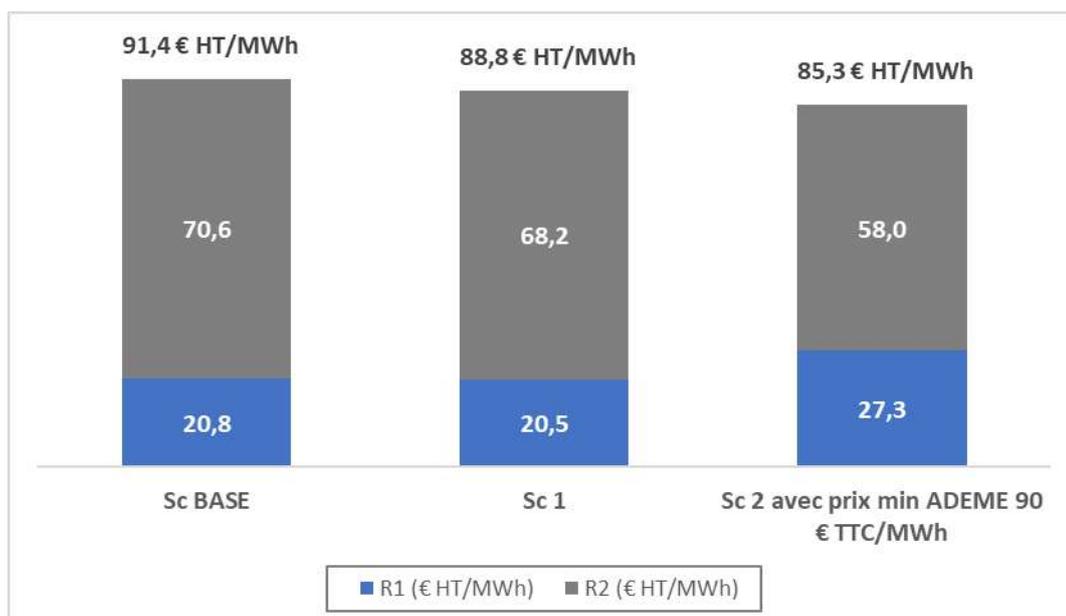
Ce TRI cible est un peu au-delà du minimum qui est généralement demandé par les opérateurs (6%).

| | Sc BASE | Sc 1 | Sc 2 avec prix min ADEME 90 € TTC/MWh |
|--|--------------|--------------|---|
| R1 Gaz (€HT/MWh) | 82,55 | 82,56 | 82,54 |
| Taux de couverture (%) | 18,99% | 16,14% | 20,61% |
| R1 Géothermie (€HT/MWh) | 6,28 | 6,28 | 6,28 |
| Taux de couverture (%) | 81,01% | 76,09% | 58,23% |
| R1 PAC (€HT/MWh) | 0,00 | 31,38 | 31,39 |
| Taux de couverture (%) | 0,00% | 7,77% | 21,16% |
| Tarif R1 (€HT/MWh) | 20,8 | 20,5 | 27,3 |
| Tarif R2 (€HT/kW) | 131,0 | 125,7 | 108,6 |
| Terme r21 | 2,1 | 2,1 | 2,1 |
| Terme r22 | 22,4 | 20,2 | 18,3 |
| Terme r23 | 13,5 | 12,9 | 10,0 |
| Terme r24 | 127,5 | 125,4 | 100,8 |
| Terme r25 | -34,6 | -34,8 | -22,7 |
| Tarif moyen de vente de la chaleur (€HT/MWh) | 91,4 | 88,8 | 85,3 |
| Dont R1 (€HT/MWh) | 20,8 | 20,5 | 27,3 |
| Dont R2 (€HT/MWh) | 70,6 | 68,2 | 58,0 |
| Tarif moyen de vente de la chaleur (€TTC/MWh) | 96,4 | 93,7 | 90,0 |

On note que la **tarification à l'export a été considérée égale à celle des abonnés du futur réseau d'Antony**, ce qui ne sera pas nécessairement le cas. Par ailleurs, le prix de la chaleur payé par les abonnés de Bourg-la-Reine alimenté par le réseau d'Antony sera déterminé par GeoSud92 (SPL gestionnaire du RCU présent sur Bourg-la-Reine), qui devra ajouter au tarif le coût de l'amortissement du réseau à poser sur Bourg-la-Reine.

Le réseau de chaleur étant alimenté à plus de 70% d'ENR, les abonnés du réseau de chaleur bénéficieront d'une TVA réduite de 5,5% sur le tarif de la chaleur même en tenant compte de la probable évolution progressive du seuil d'énergies renouvelables (aujourd'hui à 50%) nécessaire pour être éligible à ce taux réduit.

Le tarif moyen R1+R2 en année établie et en € HT est présenté pour chaque scénario dans le tableau en page précédente et peut être visualisé sur le graphe ci-dessous.



La décomposition entre part fixe et part variable est assez classique pour un réseau neuf alimenté principalement par une géothermie :

- La **part variable** représente entre **23 et 32% du prix moyen** selon le scénario,
- La **part fixe** représente entre **77 et 68% du prix moyen** selon le scénario.

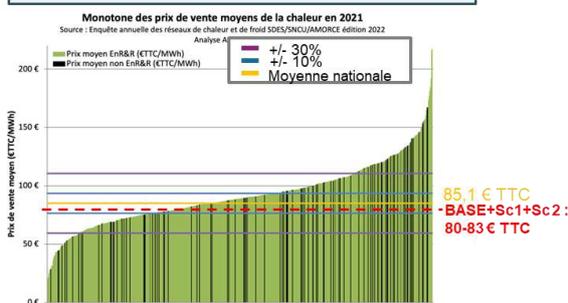
Une vigilance particulière devra être portée lors du calcul des puissances souscrites par le futur opérateur, car, considérant l'importante proportion de part fixe, ces dernières joueront un rôle important sur le prix de la chaleur réellement payé par les abonnés.

7.4.3 Compétitivité du tarif par rapport à la moyenne nationale des réseaux de chaleur et sensibilité au prix des énergies

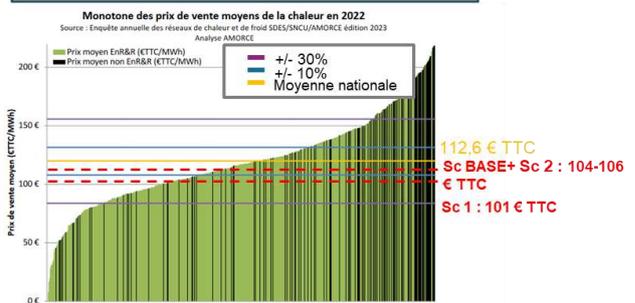
Les tarifs ont été évalués en appliquant des prix des énergies équivalents à ceux observés en 2021 et en 2022.

Les tarifs ainsi calculés ont ensuite été comparés à ceux publiés dans l'enquête AMORCE sur le prix de la chaleur (sur données 2021 et 2022).

Répartition tarifs RCU en 2021



Répartition tarifs RCU en 2022



Il en ressort que les **tarifs projetés sont attractifs** en comparaison à la moyenne des autres réseaux de chaleur, quel que soit le scénario.

Ils sont **légèrement inférieurs à la moyenne nationale avec les prix du gaz et de l'électricité de 2021** (année avant crise énergétique), et **comparables à la moyenne nationale avec les prix du gaz et de l'électricité 2022** (crise énergétique)

Le tarif peut également être considéré comme stable, au vu de ses faibles variations en comparaison avec les variations du prix du gaz et de l'électricité en 2022.

Avec un prix du gaz 2022, le tarif augmente de seulement +15/20% environ alors que le prix de la molécule de gaz était plus de 2 fois plus élevé que l'hypothèse prix prise pour l'étude.

Cette stabilité est permise grâce au taux En&R élevé et à la proportion importante de part fixe (abonnement).

7.4.1 Sensibilité du tarif à plusieurs paramètres

La sensibilité du tarif à plusieurs paramètres a été testée, à savoir :

- **Sensibilité 1 : moindre commercialisation**, pour laquelle une hypothèse d'une commercialisation d'uniquement 70% des copropriétés a été considérée,
- **Sensibilité 2 : durée du contrat limitée à 20 ans**,
- **Sensibilité 3 : surcoût global de 10%** sur les travaux.

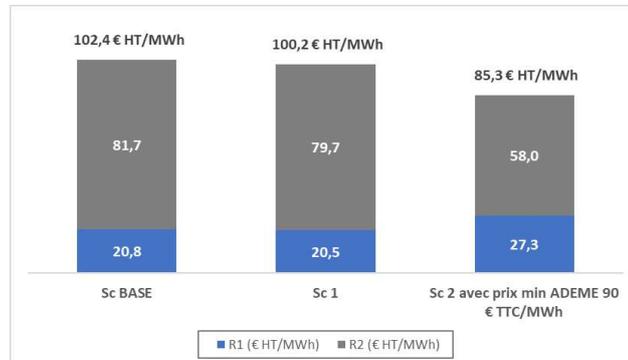
Les hypothèses prises pour réaliser ces sensibilités sont les suivantes :

- **Sensibilité 1 :**
 - Commercialisation **d'uniquement 70% des consommations et puissances souscrites des copropriétés** considérées dans chaque scénario
 - **Baisse des investissements** considérés pour les sous-stations (uniquement 75% de l'investissement, en lien avec le nombre de sous-stations que représentent les copropriétés),
 - **Baisse des droits de raccordements perçus** (uniquement 75% du montant calculé initialement, en lien avec le nombre de sous-stations que représentent les copropriétés).
 - **Ajustement de la quantité de chaleur produite, des consommations en combustibles et des achats de quotas CO2** en prenant comme hypothèse un mix énergétique invariable,
 - **Ajustement du montant de subventions perçu pour le scénario 2**, de manière à respecter à la fois le plafond maximal de 20 €/HT/MWh EnR&R et le prix minimal atteint grâce aux subventions de 90 €/TTC/MWh.
- **Sensibilité 2 :**
 - CEP établi sur une durée de 20 ans, avec une durée de 20 ans pour les amortissements,
 - **Ajustement du montant de subventions perçu pour le scénario 2**, de manière à respecter à la fois le plafond maximal de 20 €/HT/MWh EnR&R et le prix minimal atteint grâce aux subventions de 90 €/TTC/MWh.
- **Sensibilité 3 :**
 - Application d'une hausse de +10% sur le montant total des investissements, et hausse des frais de MOE, études, assurances etc en proportion des pourcentages affectés,
 - **Ajustement du montant de subventions perçu pour le scénario 2**, de manière à respecter à la fois le plafond maximal de 20 €/HT/MWh EnR&R et le prix minimal atteint grâce aux subventions de 90 €/TTC/MWh.

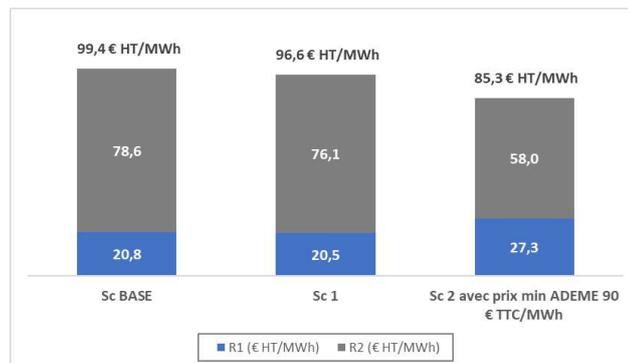
Les tarifs résultants de chaque sensibilité sont présentés en page suivante.

Les tarifs moyens résultants des 3 tests de sensibilité sont présentés sur les graphes ci-dessous.

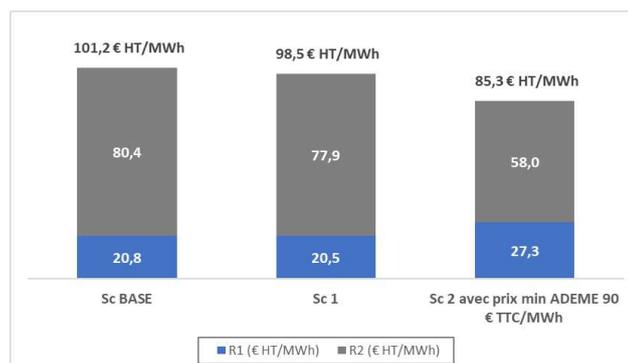
- **Sensibilité 1** : moindre commercialisation (70% des prospects copropriétés)



- **Sensibilité 2** : durée du contrat ramenée à 20 ans



- **Sensibilité 3** : surcoût de 10% sur les travaux



On constate que le tarif du scenario 2 n'est pas affecté par les différents cas de figure testés, le plafond des subventions pouvant être perçues n'étant jamais atteint, **le tarif est donc autour de 85€ HT/MWh grâce à l'ajustement du montant des subventions.**

Une moindre commercialisation augmenterait les tarifs des scenarios de BASE et 1 **d'environ 12-13% par rapport au modèle initial.**

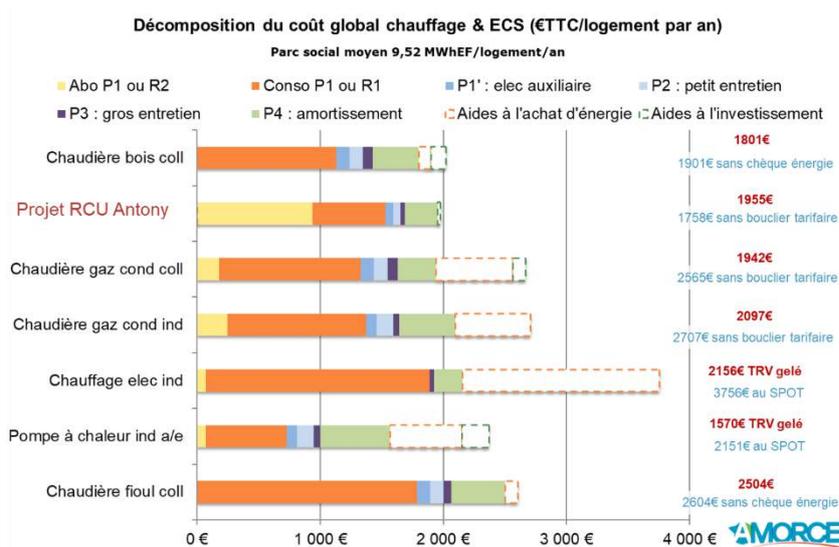
Un raccourcissement de la **durée du contrat à 20 ans** augmenterait les tarifs des scenarios de BASE et 1 **d'environ 9% par rapport au modèle initial.** On note qu'une durée moindre expose également plus au risque de retard sur le développement d'Antony (non mesuré dans cette sensibilité).

Un surcoût de 10% sur le montant des travaux entraine quant à lui une **augmentation d'environ 11% du tarif** dans le cas des scenarios de BASE et 1 par rapport au modèle initial.

7.4.2 Comparaison avec d'autres solutions de chauffage

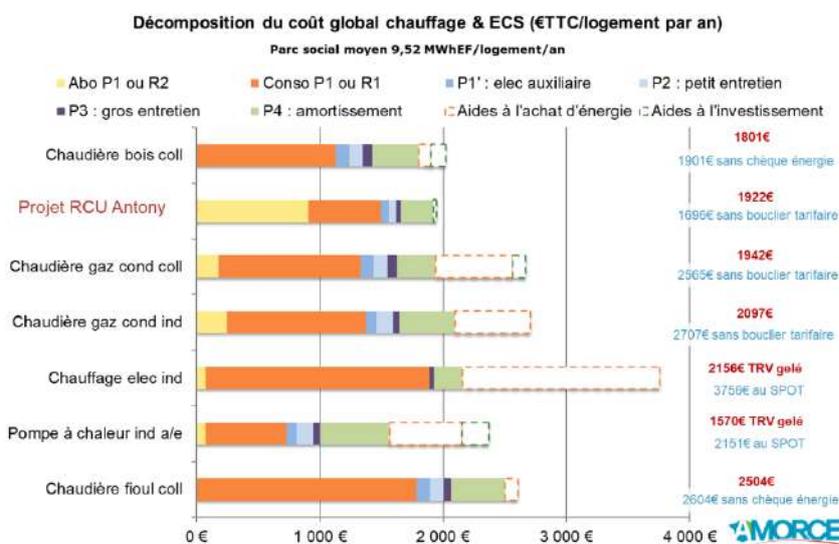
Des comparaisons ont été réalisées à l'aide du comparateur mise à disposition par l'AMORCE, sur la base des **tarifs en base 2022**. Ces comparaisons sont valables pour un logement appartenant au parc social moyen.

7.4.2.1 Scenario de BASE



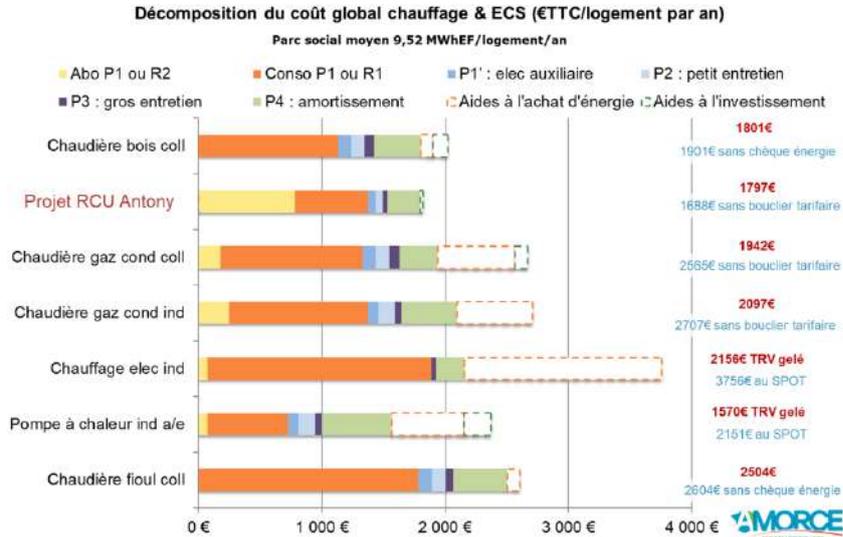
Le réseau de chaleur est compétitif avec l'ensemble des modes de chauffage dans le cas du scenario de BASE (hors prise en compte des aides de l'état).

7.4.2.2 Scenario 1



Le réseau de chaleur est compétitif avec l'ensemble des modes de chauffage dans le cas du scenario 1 (hors prise en compte des aides de l'état).

7.4.2.3 Scenario 2



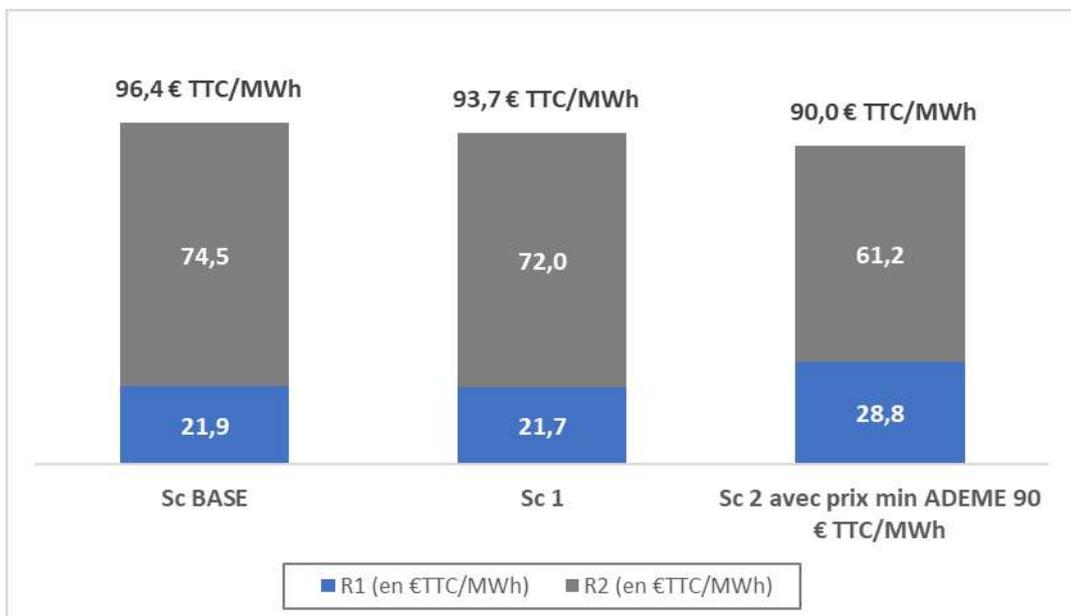
Le réseau de chaleur est compétitif avec l'ensemble des modes de chauffage dans le cas du scenario 2 (hors prise en compte des aides de l'état).

7.5 Synthèse de l'analyse économique des scénarios

Le tableau ci-dessous synthétise les montants des investissements et des aides ou autres participations.

| | Scenario BASE | Scenario 1 | Scenario 2 |
|--|---------------|--------------|--------------|
| | Coût (k€ HT) | Coût (k€ HT) | Coût (k€ HT) |
| TOTAL investissements hors subventions (k€ HT) | 65 280 | 70 918 | 78 060 |
| Subventions Fonds Chaleur | -20 985 | -23 160 | -21 889 |
| Droits de raccordement | -3 868 | -4 237 | -4 237 |
| Participation aménageur | -5 520 | -5 520 | -5 520 |
| Montant restant à financer | 34,9 M€ | 38 M€ | 46,4 M€ |

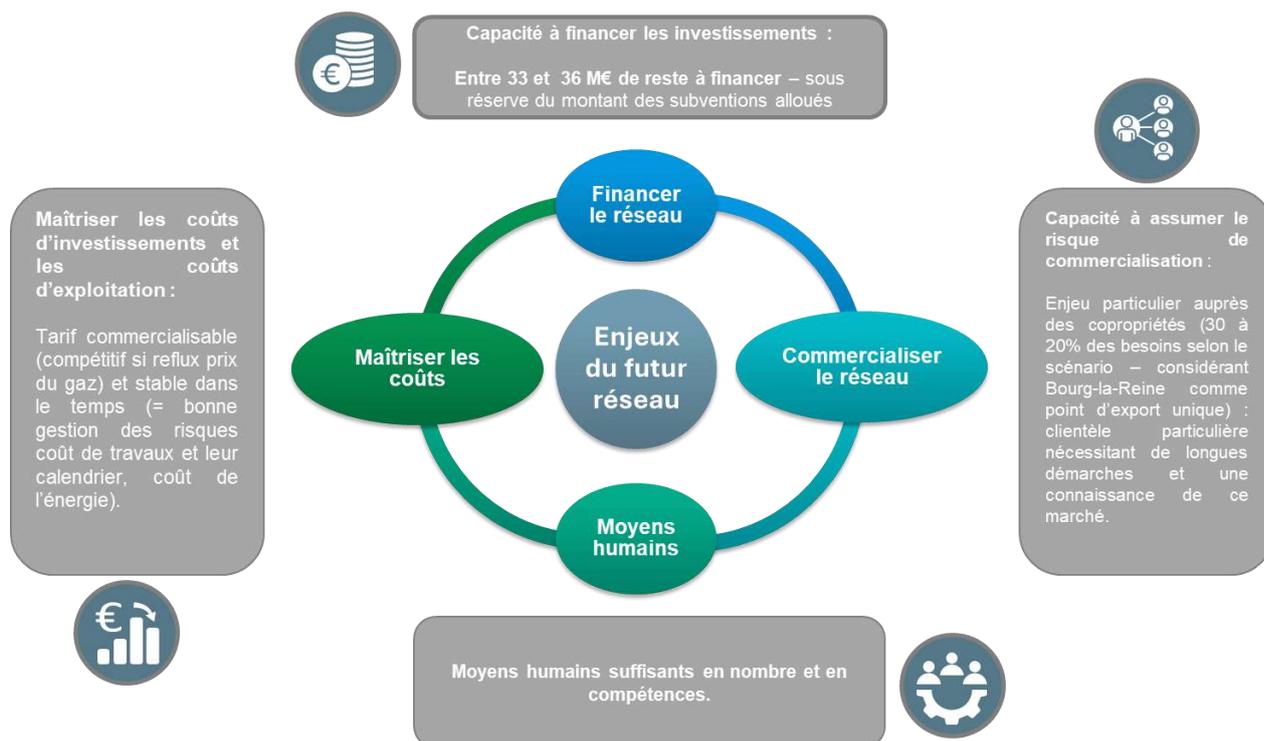
Les prix moyens associés à chaque scénario (en € TTC/MWh) sont également présentés sur le graphe ci-dessous.



8 MODES DE CONTRACTUALISATION

8.1 Principaux enjeux pour le choix du mode de gestion

Les principaux enjeux à considérer pour le choix du mode de gestion sont résumé sur le schéma ci-dessous.



Par ailleurs on note 2 enjeux particuliers au projet de réseau de chaleur géothermal sur Antony :

- La **possibilité d'intégrer l'alimentation d'abonné sur la ville de Bourg-la-Reine**, qui a adhéré à la compétence « Développement des énergies renouvelables » du SIPPAREC, et a des parts dans la SPL GeoSud92, qui porte un projet de réseau sur les villes de Fontenay-aux-Roses, Sceaux et une partie de Bourg-la-Reine. La ville de Bourg-la-Reine a d'ores-et-déjà exprimé son intérêt pour un raccordement au futur réseau d'Antony pour la partie de son territoire non incluse dans le projet initial de GeoSud92, et les différents acteurs (SIPPAREC, GeoSud92) ont été approchés. L'hypothèse privilégiée à date serait celle d'un export.
- La **possibilité d'intégrer des partenaires du territoire comme investisseurs**. La SEM Energies du CD92 et/ou Vallée Sud Grand Paris (actionnaire principal de Vallée Sud Aménagement, SPL en charge du projet d'Antonypole) sont envisagés.

8.2 Synthèse des modes de gestion existants et compatibilité avec le projet de réseau de chaleur sur Antony

Le tableau ci-dessous résume les modes de gestion pouvant être mis en œuvre pour gérer un service public de chauffage urbain.

| Autorité organisatrice | Mode de gestion | Structure en charge de la gestion RCU | Charge des investissements | Risques d'exploitation | Définition | Procédure mise en concurrence | Compatibilité projet RCU Antony |
|------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---|---|---|---|---------------------------------|
| Collectivité | Régie | Régie | Collectivité ou Régie | Collectivité ou Régie ou Exploitant privé | Prise en charge du service public par la collectivité ou un établissement public rattaché | Pas de mise en concurrence | |
| Collectivité | SPL avec Marché public ou Concession | SPL | Collectivité (Marché public) SPL (Concession) | SPL ou Exploitant privé (sous-traitance) | Prise en charge conception, financement, réalisation et exploitation du service public par une société anonyme à capital exclusivement public | Pas de mise en concurrence | |
| Collectivité ou Régie ou SPL | Marché public | SEM* | Collectivité | SEM | Prise en charge conception, réalisation et exploitation du service public par une SEM | Mise en concurrence | |
| | | SEMOP** | Collectivité | SEMOP | Délégation à une SEMOP (SA) après désignation de l'actionnaire associé - capital public entre 34 et 85% | Mise en concurrence unique pour création SEMOP et passation marché public | |
| | | Opérateur privé | Collectivité | Exploitant privé | Prise en charge conception, réalisation et exploitation du service public par un opérateur privé | Mise en concurrence | |
| Collectivité | Concession | SEM* | SEM | SEM | Délégation du service public à une SEM | Mise en concurrence | |
| | | SEMOP** | SEMOP (avec une partie collectivité) | SEMOP (avec une partie collectivité) | Délégation à une SEMOP (SA) après désignation de l'actionnaire associé - capital public entre 34 et 85% | Mise en concurrence unique pour création SEMOP et passation DSP | |
| | | Opérateur privé | Opérateur privé | Opérateur privé | Délégation du service public à une entreprise privée | Mise en concurrence | |

*Cas d'une SEM créée par le SIMACUR, dans laquelle le syndicat sera actionnaire

**Cas d'une SEMOP créée par le SIMACUR et un ou plusieurs partenaires privés

Les structures et/ou modes de gestions suivants **ne sont pas préconisés** :

- **Constitution d'une SEM** à laquelle le SIMACUR confierait un marché global de performance ou une concession : cela supposerait la création préalable d'une SEM (qui serait donc « à la main » de l'opérateur partenaire) et l'attribution du contrat à la SEM, au terme de la procédure de mise en concurrence, non garantie.
- **Création d'une SPL à laquelle le SIMACUR confierait** un marché global de performance ou une concession : il n'y a pas de partenaire public avec la compétence réseau de chaleur identifié. Une participation du SIMACUR à la SPL GeoSud92 pour lui confier la conception, réalisation, et exploitation du futur serait envisageable en théorie, mais ce n'est pas le souhait du syndicat.

Les modes de gestion qui sont envisageables sont donc :

- La **création d'une Régie** avec ou sans passation d'un marché global de performance,
- La **passation d'une concession à un opérateur privé ou à une SEMOP**.

8.3 Choix du mode de gestion

Le tableau ci-dessous compare le recours à la Régie et le recours à la concession.

| | REGIE (avec ou sans marché public d'exploitation) | CONCESSION (avec ou sans SEMOP) |
|-------------------|--|--|
| Forces | <p>Affirmation du service public</p> <p>Facturation du service sans marge</p> <p>Structure pérenne : pas de problématique d'échéance contractuelle (cas hors marché d'exploitation)</p> | <p>Appui sur la force commerciale d'un concessionnaire pour le déploiement du service</p> <p>Risque de développement pris par le concessionnaire (partagé si SEMOP)</p> <p>Portage des investissements par le concessionnaire (et le cas échéant les investisseurs tiers)</p> |
| Faiblesses | <p>Prise en charge des investissements</p> <p>Difficulté de recrutement profils techniques et commerciaux</p> <p>Assumer le risque technique, humain (voir pénal) d'exploitation d'une ICPE (installation classée pour la protection de l'environnement) (sauf si Régie avec marché)</p> <p>Nécessité d'équilibrer les 1ères dépenses d'investissement avec un décalage de perception des 1ères recettes sur le périmètre de développement, qui dépendent notamment de la commercialisation du service auprès des nouveaux abonnés (sur périmètre développement). Cette difficulté est renforcée par les incertitudes sur le calendrier de livraison d'Antonypole.</p> | <p>Impact de la rémunération et de la marge de l'entreprise</p> <p>Impact des contraintes financières de l'entreprise (TRI)</p> <p>Nécessité d'un suivi rapproché de la bonne exécution du contrat de concession</p> |

Etant donné le montant conséquent à investir pour la création du réseau, les difficultés à recruter du personnel qualifié, et la nécessité pour la Régie d'équilibrer en tout temps dépenses et recettes, qui pourrait entraîner de fortes fluctuations tarifaires, **le recours à une concession avec ou sans SEMOP est préconisé.**

Une durée de 25 ans est envisagée, afin de tenir compte de l'étalement dans la durée du programme Antonypole, qui représente une part non négligeable des consommations.

9 PLANNING

9.1 Procédure dossier ICPE

Le dossier de demande d'enregistrement devra comporter :

- La localisation de l'installation
- La description la nature et le volume des activités ainsi que les rubriques de la nomenclature dont relève l'installation ; cette description succincte (de l'ordre d'une à deux pages) doit permettre au public de comprendre quelle est l'installation projetée et en quoi elle consiste.
- Les cartes et plans
- Dans le cas d'une installation à implanter sur un site nouveau, la proposition sur le type d'usage futur du site lorsque l'installation sera mise à l'arrêt définitif ;
- Les capacités techniques et financières de l'exploitant ;
- Un document justifiant la compatibilité du projet d'installation avec les dispositions d'urbanisme ;
- Un document justifiant du respect des prescriptions générales applicables à l'installation.

La demande d'enregistrement sera également complétée par la demande de permis de construire.

La dépose du dossier ne pourra donc se faire qu'après la fin des études d'exécution. Les exemplaires du dossier devront être déposés à la préfecture du département.

Dès réception, et si le dossier est complet, il sera soumis :

- à l'avis du conseil municipal des communes concernées,
- à une consultation du public en mairie et sur internet pendant 4 semaines.

L'ensemble des informations recueillies fera l'objet d'un rapport de synthèse préparé par l'inspection des installations classées.

En l'absence de mesures particulières, l'enregistrement peut être prononcé par le préfet par arrêté d'enregistrement, sans autre procédure, le délai d'instruction est de **5 mois**.

9.2 Procédure de dépôt de demande de permis minier

La procédure de demande de permis minier, permettant d'obtenir l'autorisation pour le forage au Dogger, est détaillée dans l'étude d'ANTEA.

L'étude prévoit un délai de rédaction de la demande de permis (AR-DAEnv) de 4 à 5 mois, et un délai d'instruction par la DRIEAT d'environ 1 an.

Le phasage détaillé des différentes étapes peut être retrouvé dans l'étude d'Antea.

9.3 Phasage du développement

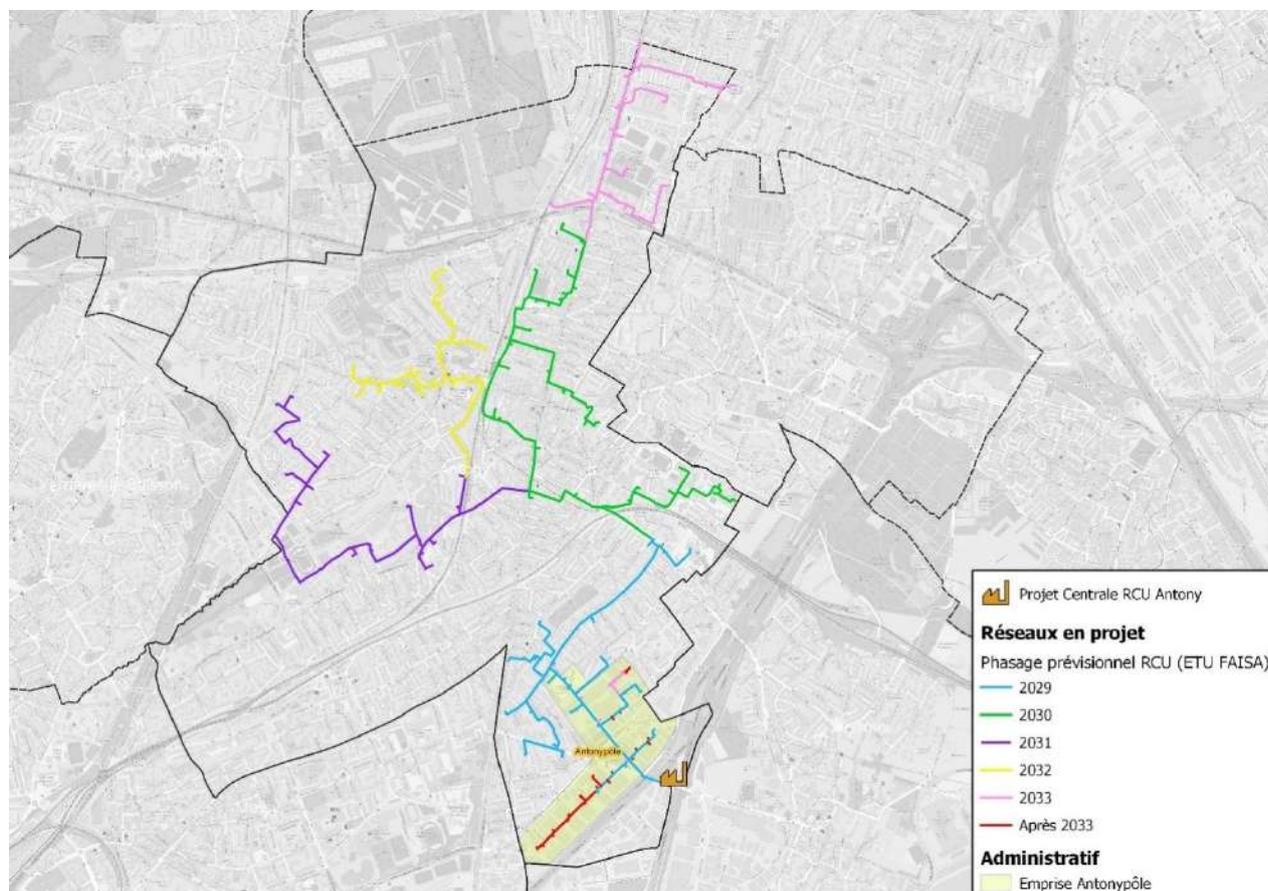
Compte tenu de la taille du réseau retenu, nous estimons un **développement en 4 ou 5 phases** selon le scénario retenu, sur une **durée totale de 4 à 5 ans**.

En complément, l'étude fait l'hypothèse d'une réalisation des antennes et branchements des bâtiments neufs d'Antonyville au fil de l'eau, selon leur date de livraison prévisionnelle.

Le phasage envisagé est présenté sur la cartographie ci-dessous.

Il ne s'agit que d'un phasage indicatif, qui pourra faire l'objet de modifications selon plusieurs paramètres. Il tient compte du milieu urbain très dense, de plusieurs franchissements de points durs, et de la volonté de la ville d'Antony de ne pas ouvrir trop de tranchées simultanément.

- **1^{re} phase** : quartier Antonyville et prospects à proximité (hors bâtiments mis en service plus tardivement)
- **2^e phase** : Est de la D920,
- **3^e phase** : Antenne vers Parc Heller,
- **4^{ème} phase** : Antenne Centre-ville (côté Mairie et ISMA),
- **5^{ème} phase** : Antenne Croix de Berny et sous-station d'export vers Bourg-la-Reine (si scénario 2 retenu)



La synthèse des données pour chaque phase, dans le cas du scénario le plus ambitieux (Scenario 2) est la suivante :

| | Nombre de prospects | Consommation <i>Hors baisses</i> (MWh) | Puissances <i>Hors baisses</i> (kW) | Métrés (ml) | Densité (MWh/ml) |
|---------------------------------|---------------------|--|---|----------------|---------------------|
| Phase 1 | 23 | 12 516 | 6 532 | 5 762 | 2,2 |
| Phase 2 | 29 | 21 412 | 11 538 | 6 142 | 3,5 |
| Phase 3 | 16 | 11 315 | 6 007 | 4 511 | 2,5 |
| Phase 4 | 18 | 8 794 | 5 243 | 3 340 | 2,6 |
| Phase 5 (dont export) | 29 | 50 713 | 26 445 | 4 012 | 12,6 |
| Fin développement Antonypole | 18 | 13 750 | 6 193 | 842 | 16,3 |
| TOTAL | 133 | 118 500 | 61 958 | 24 609 | 4,8 |

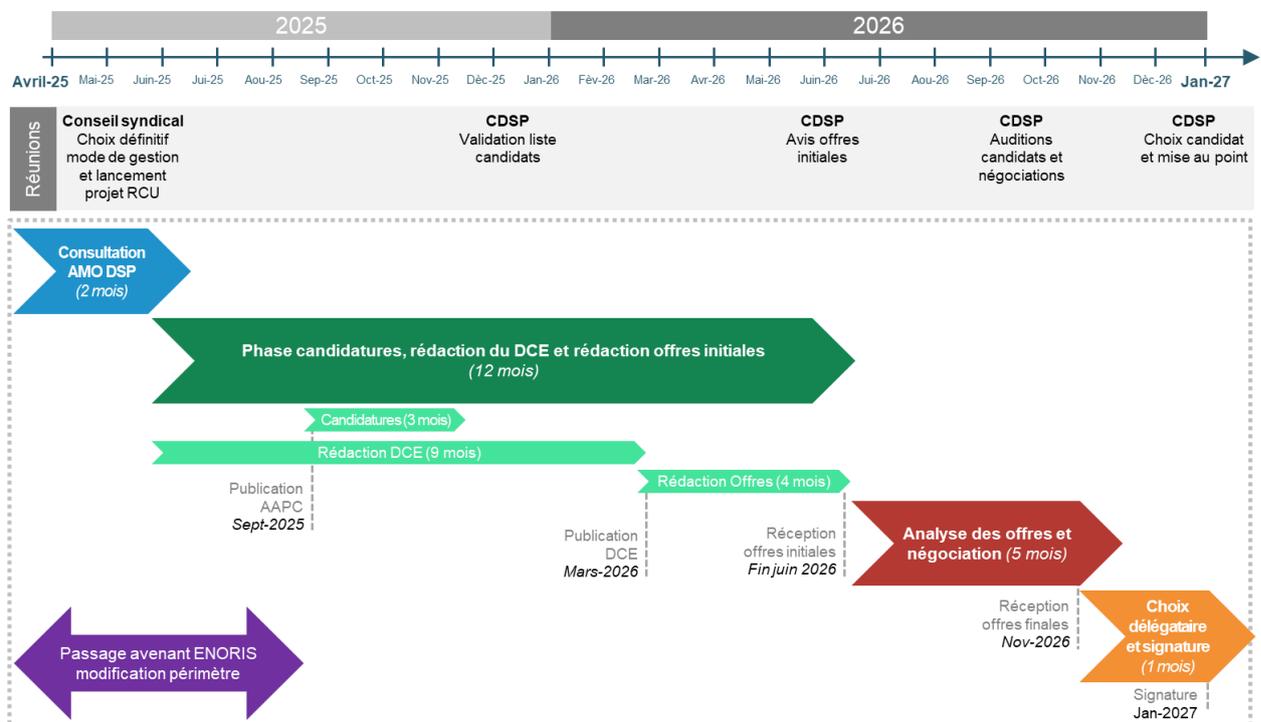
On note que les consommations et puissances indiquées dans ce tableau correspondent à la somme des consommations et puissances de référence (telles que calculées à date), et ne tiennent pas compte des baisses de consommations intégrées aux modélisations énergétiques et économiques.

9.4 Planning prévisionnel

9.4.1 *Planning type pour la mise en place d'une délégation de service public*

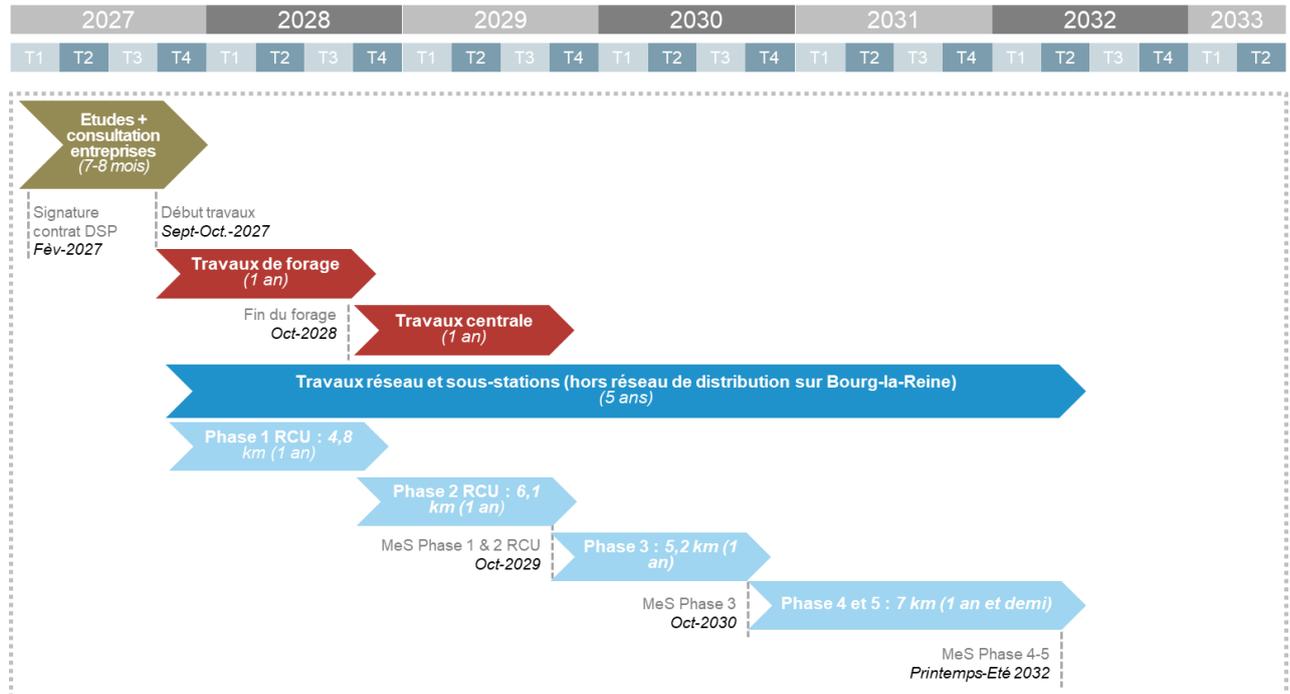
Le **mode de gestion retenu** à l'issue de l'étude de faisabilité et de la phase de choix du mode de gestion est celui de la **délégation de service public**.

Le planning prévisionnel pour la mise en place est présenté ci-dessous. Il tient compte de la période électorale qui rallonge de quelques mois la consultation.



9.4.2 Planning prévisionnel de réalisation

Le planning prévisionnel de réalisation du réseau est présenté ci-dessous.



Ce planning tient compte de plusieurs hypothèses :

- **Dépôt de la demande d'autorisation de recherche et demande d'autorisation environnementale (AR-DAEnv) dès début/mi-2026 au plus tard.**
NB : Cela signifie que c'est le SIMACUR qui devrait déposer le dossier avant désignation du futur concessionnaire.
- **Absence de coactivité entre les travaux de forage et les travaux de construction de la centrale :**
en effet, au vu de l'implantation projeté des travaux de forage, il ne semble pas évident d'envisager une coactivité sur le terrain.
Ce point devra être précisé lors des études de conception. Une coactivité pourrait permettre de raccourcir le planning global d'environ 1 an.

10 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE

Les principaux résultats de l'étude de faisabilité sont résumés dans le tableau ci-dessous

| | Scenario BASE | Scenario 1 | Scenario 2 |
|--------------------|--|--|--|
| Analyse technique | Périmètre : Antony sans Export | Périmètre : Antony sans Export | Périmètre : Antony avec Export Bourg-la-Reine |
| | Ventes max : 68 GWh/an – 37 MW | Ventes max : 75 GWh/an – 41 MW | Ventes max : 108 GWh/an – 58 MW |
| | Nombre de prospects : 115 | Nombre de prospects : 132 | Nombre de prospects : 133 |
| | Taux EnR&R : 81 % | Taux EnR&R : 81 % | Taux EnR&R : 74% |
| | Longueur : 20,9 km | Longueur : 24,5 km | Longueur : 24,6 km |
| | Durée prévisionnelle travaux (hors Antonypole) : 4 ans | Durée prévisionnelle travaux (hors Antonypole) : 5 ans | Durée prévisionnelle travaux (hors Antonypole) : 5 ans |
| Analyse économique | Investissements : 65,3 M€ | Investissements : 70,9 M€ | Investissements : 78,1 M€ |
| | Subventions : 21 M€ | Subventions : 23 M€ | Subventions : 20,1 M€ |
| | DR : 3,9 M€ | DR : 4,2 M€ | DR : 4,2 M€ |
| | Participation aménageur : 5,5 M€ | Participation aménageur : 5,5 M€ | Participation aménageur : 5,5 M€ |
| | Montant à financer : 34,9 M€ | Montant à financer : 38 M€ | Montant à financer : 46,4 M€ |
| | Prix moyen TTC : 96,4 € TTC/MWh | Prix moyen TTC : 93,7 € TTC/MWh | Prix moyen TTC : 90 € TTC/MWh |

Le projet est réalisable sur tous les **points techniques et environnementaux** :

- **Des besoins en chaleur suffisants**, avec une opportunité d'export vers la ville de Bourg-la-Reine qui permet de sécuriser le projet et de diminuer le risque de commercialisation,
- Une **ressource géothermale au Dogger avec des caractéristiques favorables sur le secteur retenu pour le forage**, en particulier si mise en place d'une architecture de puits multidrains permettant de sécuriser le débit maximal,
- Un **taux de couverture EnR&R très satisfaisant** pouvant être atteint grâce à la géothermie, autour de 75-80%,
- Une **réduction des émissions annuelles de CO2 autour de -80%** par rapport à une solution conventionnelle au gaz collectif,
- **Terrain identifié**, et dont la maîtrise foncière reste cependant à sécuriser avec la DIRIF,
- **Implantations du forage et de la chaufferie possibles** selon les réglementations,
- **Passage possible du réseau au niveau des points durs identifiés.**

Les **éléments économiques** permettent de mettre en évidence un intérêt de la création du réseau de chaleur, avec un prix de la chaleur résultant proche de la moyenne nationale des réseaux de chaleur, compétitif avec le gaz naturel et permettant d'assurer une meilleure stabilité du prix de l'énergie sur la durée.

Le **scénario le plus favorable et qui permet de sécuriser le projet et le scénario le plus ambitieux (Scenario 2)**, avec un export vers la ville de Bourg-la-Reine.

11 ANNEXES

11.1 Annexe 1 - Liste des prospects étudiés et besoins en chaleur associés

11.2 Annexe 2 – Etude de faisabilité ressource géothermie au Dogger (ANTEA)

11.3 Annexe 3 – Analyse des points durs

11.4 Annexe 4 – CEP détaillés



SIMACUR



Projet de géothermie profonde au Dogger sur la commune d'Antony (92)

Etude de faisabilité sous-sol



Rapport n°135150/V3 – Mars 2025

Fiche signalétique

Etude de faisabilité sous-sol pour un projet de géothermie au Dogger sur la commune d'Antony (92)

| CLIENT | SITE |
|---------------|--|
| Raison Social | SIMACUR |
| Coordonnées | Mairie de Massy, 1 Avenue du Général de Gaulle, 91300 Massy 01 60 13 73 22 |
| Contact : | Nicolas Eyraud 06 75 40 23 mail : nicolas.eyraud@mairie-massy.fr |

| RAPPORT D'ANTEA GROUP | |
|-----------------------|-----------------|
| Responsable du projet | Nicolas Fréchin |
| Rapport n° | 135150 |
| Version n° | 3 |

| | Nom | Fonction | Date | Signature |
|-------------|-----------------|-----------------------|-----------|-----------|
| Rédaction | Margaux Savary | Ingénieure géothermie | Mars 2025 | |
| Rédaction | Mattis Auriou | Ingénieure géothermie | Mars 2025 | |
| Approbation | Nicolas Fréchin | Expert géothermie | Mars 2025 | |

Sommaire

| | |
|--|----|
| 1. Contexte | 6 |
| 2. Qualification du site de forage potentiel..... | 8 |
| 3. Implantation sur le futur site de forage | 18 |
| 4. Caractérisation du réservoir | 21 |
| 4.1. Contexte géologique | 21 |
| 4.1.1. Contexte géologique régional | 21 |
| 4.1.2. Lithologie au droit du site | 23 |
| 4.2. Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du réservoir du Dogger | 26 |
| 4.2.1. Le Dogger : une ressource bien connue en Île-de-France..... | 26 |
| 4.2.2. Altitude du sommet du Dogger..... | 27 |
| 4.2.3. Température du réservoir du Dogger | 28 |
| 4.2.4. Transmissivité du réservoir du Dogger | 29 |
| 4.2.5. Salinité du réservoir | 30 |
| 4.2.6. Bilan sur la qualité de la ressource | 31 |
| 4.2.7. Performances prévisionnelles | 32 |
| 5. Modélisation numérique du réservoir : Evaluation de l’impact du nouveau doublet au Dogger.. | 33 |
| 5.1. Modèle conceptuel du réservoir | 33 |
| 5.1.1. Code de calcul utilisé..... | 33 |
| 5.1.2. Hypothèses de calcul retenues | 33 |
| 5.1.3. Extension horizontale du modèle | 33 |
| 5.1.4. Discrétisation horizontale et verticale | 35 |
| 5.1.5. Conditions hydrauliques initiales | 37 |
| 5.1.6. Conditions aux limites | 37 |
| 5.1.7. Perméabilité à l’eau | 38 |
| 5.1.8. Paramètres thermiques | 38 |
| 5.1.9. Synthèse – Schéma conceptuel..... | 38 |
| 5.2. Simulations des évolutions thermiques et hydrodynamiques du secteur passées et futures | 39 |
| 5.2.1. Conditions thermiques initiales | 39 |
| 5.2.2. Simulations thermiques | 42 |
| 5.2.3. Principe de la simulation couplée | 44 |
| 5.3. Scenarii de simulation pour le projet d’Antony | 45 |
| 5.4. Conclusion sur la modélisation | 45 |

| | |
|---|----|
| 6. Principe du forage pétrolier | 46 |
| 7. Architectures de puits | 50 |
| 8. Estimation des coûts d’investissement et des coûts d’exploitation du projet..... | 55 |
| 8.1. Les investissements..... | 55 |
| 8.2. Les coûts d’exploitation..... | 58 |
| 8.2.1. Charges P1 – Achat de combustibles et d’énergie | 58 |
| 8.2.2. Charges P2 – Entretien, maintenance et autres frais d’exploitation | 58 |
| 8.2.3. Charges P3 – Gros entretien et renouvellement (GER)..... | 59 |
| 9. Planning et cadre réglementaire | 60 |
| 10. Conclusions..... | 65 |

Table des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 – Localisation de la commune d’Antony (source : Géoportail) | 6 |
| Figure 2 – Localisation du site de forage potentiel | 8 |
| Figure 3 – Vue aérienne du site de forage potentiel..... | 9 |
| Figure 4 – Schéma de principe du site de forage potentiel | 10 |
| Figure 5 – Proximité du site de forage envisagé avec les autoroutes..... | 12 |
| Figure 6 – Carte du réseau électrique dans le secteur du site envisagé (Source : ENEDIS) | 13 |
| Figure 7 – Profils altimétriques sur le site de forage envisagé..... | 14 |
| Figure 8 – Carte topographique au niveau du site de forage envisagé..... | 14 |
| Figure 9 – Topographie générale du terrain de forage envisagé | 15 |
| Figure 10 – Photographies du site (selon les points de vue indiqués sur la figure précédente) | 16 |
| Figure 11 – Schéma explicatif et localisation du projet par rapport aux zones de dégagements aéronautiques | 17 |
| Figure 12 – Réglementation des obstacles par rapport aux zones de dégagement..... | 17 |
| Figure 13 – Contraintes immédiates qui s’appliquent au site de forage envisagé (Source : PLU d’Antony)..... | 18 |
| Figure 14 – Proposition d’implantation de forage | 19 |
| Figure 15 – Proposition d’implantation d’appareil de forage sur le site | 20 |
| Figure 16 – Géologie simplifiée du Bassin parisien (Source : Demars, 1994) | 21 |
| Figure 17 – Coupe géologique du Bassin parisien – Localisation des aquifères (Source : ADEME BRGM) | 22 |
| Figure 18 – Cadre structural dans le secteur du projet..... | 22 |
| Figure 19 – Localisation des puits profonds à proximité du projet d’Antony..... | 23 |
| Figure 20 – Carte géologique au droit du projet..... | 24 |
| Figure 21– Exploitabilité géothermique du Dogger en Île-de-France (Source : www.geothermie- perspectives.fr)..... | 26 |
| Figure 22 – Carte d’altimétrie au Dogger dans le secteur d’étude | 28 |
| Figure 23 – Carte de température dans le secteur d’étude | 29 |
| Figure 24 – Carte de transmissivité dans le secteur d’étude | 30 |
| Figure 25 - Carte de salinité du Dogger (Source : BRGM - Caractérisation et modélisation du réservoir géothermique du Dogger Bassin parisien, France) | 31 |

| | |
|--|----|
| Figure 26 – Performances prévisionnelles du doublet d’Antony | 32 |
| Figure 27 – Contours du modèle hydrogéologique..... | 35 |
| Figure 28 – Maillage du modèle | 36 |
| Figure 29 – Modèle conceptuel et discrétisation verticale adoptée pour le modèle numérique | 39 |
| Figure 30 – Champ de température simulé en régime permanent (couche 8 du modèle) | 40 |
| Figure 31 - Comparaison des températures mesurées et des températures simulées | 42 |
| Figure 32 – Schémas de principe d’un forage de type pétrolier (Source : Ademe/BRGM) | 47 |
| Figure 33 – Exemples d’ateliers de forages géothermiques (Source : ADEME/BRGM et Antea Group) | 48 |
| Figure 34 – Principe de cimentation d’un tubage (Source : BRGM)..... | 49 |
| Figure 35 -Schéma explicatif d’une architecture multi-drains | 50 |
| Figure 36 – Proposition de permis d’exploitation au Dogger pour le projet d’Antony, selon des architectures classiques et multi-drains..... | 51 |
| Figure 37 – Trajectoire de forage prévisionnelle du puits de production GANT1 | 52 |
| Figure 38 – Trajectoire de forage prévisionnelle du puits d’injection GANT2 | 53 |
| Figure 39 – Equipement des forages dans un schéma réversible (source : projet Geostocal) | 54 |
| Figure 40 - Calendrier prévisionnel d’instruction d’une demande conjointe d’AR-DAENV (Source : Préfecture d’Ile-de-France) | 61 |

Table des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 - Contraintes du site de forage | 12 |
| Tableau 2 – Coupe géologique prévisionnelle au droit du site de forage..... | 25 |
| Tableau 3 - Exploitations géothermiques prises en compte dans le modèle | 34 |
| Tableau 4 - Températures simulées au droit des doublets au Dogger considérés dans le modèle..... | 41 |
| Tableau 5 - Chroniques de débit pour le futur doublet d’Antony..... | 43 |
| Tableau 6 - Investissements nécessaires au projet de géothermie d’Antony..... | 55 |
| Tableau 7 – Estimation des surcoûts dans le cas d’un passage de forage en sur-diamètre (6 postes affectés)..... | 56 |
| Tableau 8 – Coûts des fournitures et travaux de forage pour les schémas de forage drain standard et multidrains | 57 |
| Tableau 9 - Coût d’exploitation annuels des charges P1 (sur une période de 30 ans) | 58 |
| Tableau 10 - Coûts d’exploitation annuels des charges P2 (sur une période de 30 ans)..... | 58 |
| Tableau 11 - Coûts d’exploitation des charges annuelles P3 (sur une période de 30 ans)..... | 59 |
| Tableau 12 - Procédure réglementaire et planning prévisionnel généralement associée à la réalisation d’un doublet au Dogger..... | 60 |

1. Contexte

Dans un contexte global de réduction des émissions de gaz à effet de serre, le SIMACUR (maître d’ouvrage du réseau de chaleur de Massy – Antony, qui livre de l’ordre de 218 GWh/an) souhaite développer les solutions renouvelables pour un projet de nouveau réseau de chaleur sur la ville d’Antony.

La géothermie constitue une piste privilégiée pour contribuer au mix énergétique du réseau.

En parallèle, la période est marquée par la multiplication des projets de géothermie dans le sud des Hauts-de-Seine et l’ouest du Val-de-Marne : nouveau doublet de Fresnes, nouveau doublet de Chatenay-Malabry, futur doublet de Fontenay-aux-Roses / Bourg-la-Reine (projet SIPPAREC) ou encore de la SEMMARIS. Cette multiplicité de projets nécessite une bonne coordination entre les acteurs, afin de limiter les interférences entre toutes ces futures installations, et ainsi, maximiser l’exploitation de cette ressource.

Le SIMACUR a missionné Antea Group pour l’accompagner dans cette démarche, en travaillant aux premiers contours d’une solution géothermique pour le réseau de chaleur de Massy – Antony. Les objectifs principaux de l’étude sont de déterminer si le terrain de forage pressenti a la capacité d’accueillir un appareil nécessaire aux travaux, et d’établir la faisabilité d’un mode de fonctionnement par géothermie.

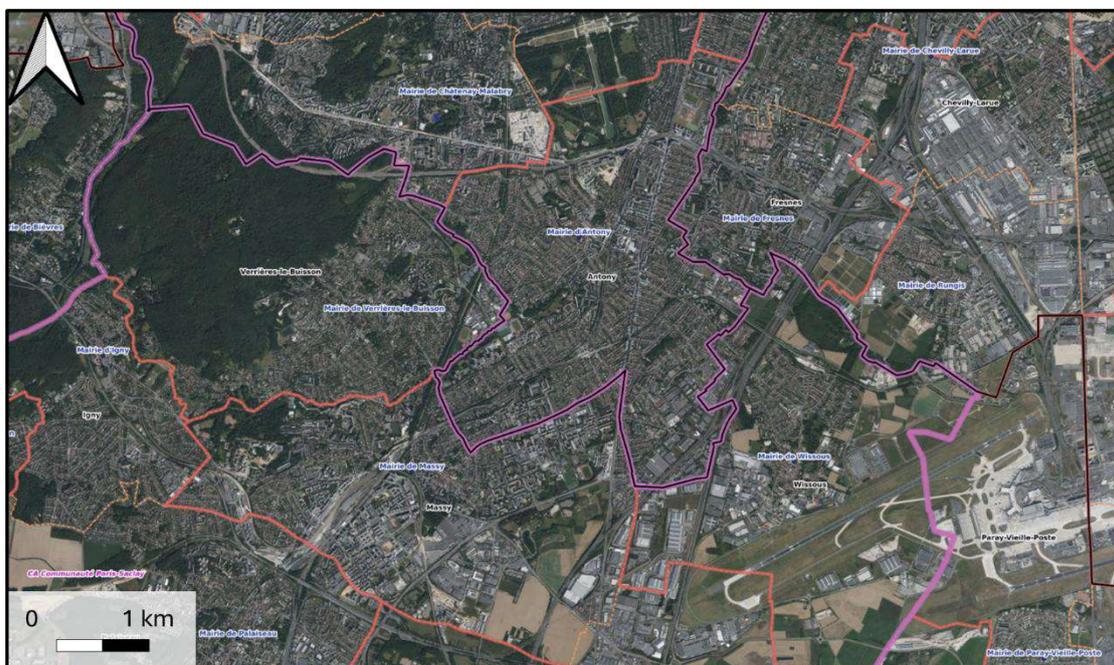


Figure 1 – Localisation de la commune d’Antony (source : Géoportail)

La présente étude a de plus pour but de caractériser la ressource et d’établir la faisabilité d’un tel projet pour la partie sous-sol en abordant les points suivants :

- Caractérisation du réservoir ;
- Modélisation thermique et hydraulique et l’insertion du projet d’Antony dans un contexte dense d’exploitation de la ressource ;
- Le dimensionnement des ouvrages de géothermie ;
- Les coûts de financement et d’exploitation en fonction du schéma retenu ;
- Les jalons et les références réglementaires des projets de géothermie.

2. Qualification du site de forage potentiel

Pour créer un forage de géothermie profonde, une plateforme d'une surface d'environ 5 000 m² est nécessaire. Dans le cadre de ce projet, le site localisé Avenue Léon Jouhaux à Antony a été étudié (cf. Figure 2, Figure 3 et Figure 4).

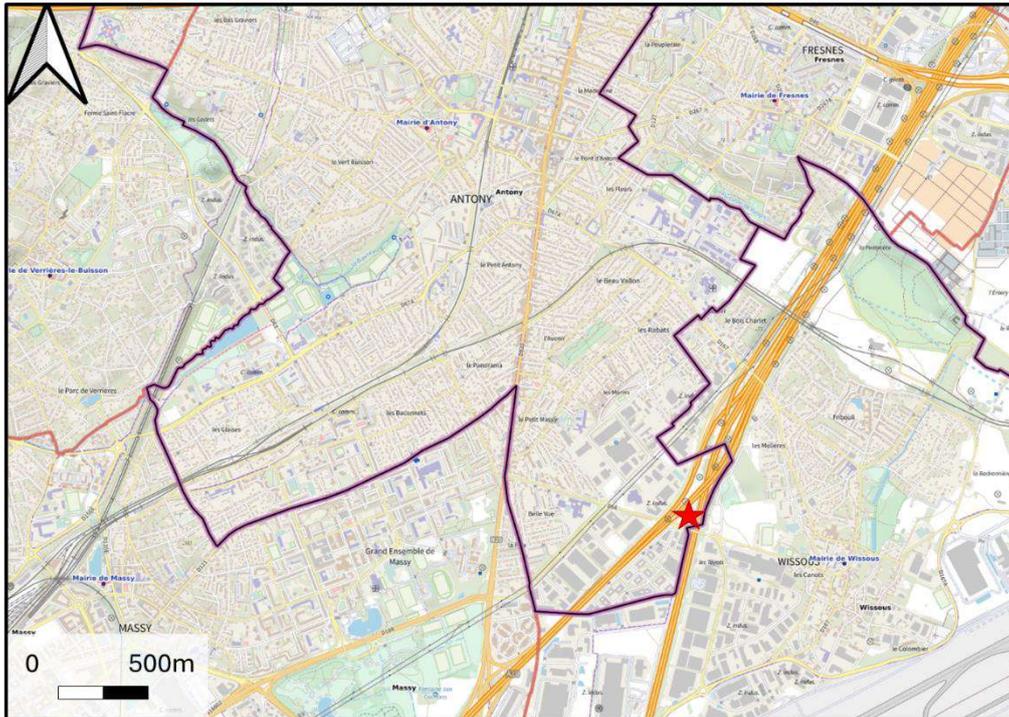


Figure 2 – Localisation du site de forage potentiel



Figure 3 – Vue aérienne du site de forage potentiel



Figure 4 – Schéma de principe du site de forage potentiel

Le Tableau 1 propose une synthèse des contraintes qui s’appliquent sur le site de forage.

| Critères | Zone au niveau de la fourche : Av. Léon Jouhaux / E50 / A6 / A10 |
|---|--|
| Commune | Antony (92160) |
| Adresse/Localisation | Avenue Léon Jouhaux |
| N° parcelles/ Cadastre | Cadastralisation en projet |
| Zonage PLU | UFa (ancienne zone industrielle d'Antony) : zones urbaines spécifiques destinées à accueillir des activités économiques |
| Compatibilité avec le PLU | <ul style="list-style-type: none"> Est interdit la création de bâtiments à usage principal de stockage = ne s'applique pas au projet Stationnement = 20% de la surface hors œuvre nette (activité industrielle) Le coefficient d'occupation des sols ne s'applique pas aux constructions et installations nécessaires aux services publics ou d'intérêt collectif Les constructions doivent être réalisées à 12m de l'alignement des voies publiques |
| Surface approximative | Environ 7000m ² |
| Altimétrie | +85 à +90 m NGF : terrassement important à prévoir |
| Accessibilité | Accès à créer et à maintenir en phases travaux et exploitation ; accès possibles depuis l'avenue Léon Jouhaux (voirie contrainte par le PLU) |
| Proximité réseau | Réseau de Massy – Antony situé à 1km du site |
| Voisinage | Zone principalement industrielle ; présence d'hôtels à moins de 100m |
| Profondeur du Dogger (mNGF) | -1530 mNGF ± 20m |
| Température (°C) | 74 °C ± 2°C |
| Transmissivité (D.m) | Entre 10 et 15 D.m attendu (transmissivité moyenne à faible) |
| Risque d'inondation | Aléa nul à faible (commune non soumise à un plan de prévention) |
| Risque sismique | Très faible |
| Retrait/Gonflement des argiles | Exposition forte au retrait/gonflement des argiles |
| Risques de cavité souterraine/carrières | Territoire communal concerné par un PPRN Risque Mouvement de terrain approuvé : le site n'est cependant pas situé en zone de prévention des risques de mouvements de terrain liés aux anciennes carrières (d'après le Plan des Servitudes d'Utilité Publique de la commune) ; aucune carrière n'est recensée à proximité du site sur l'atlas des carrières souterraines |
| Proximité avec les espaces naturels | Non (Espace naturel le plus proche : RNR « Bassin de la Bièvre » à 2,5km) Site localisé à 600m d'une zone humide probable dont le caractère reste à vérifier |
| Risques technologiques | Présence de 3 usines non Seveso à moins de 500m (dont 1 située à 200m) Présence d'1 usine Seveso à 650m du site Présence de canalisations de transport de matières dangereuses : Gaz naturel à 1km et Hydrocarbures à 1,7km |

| | |
|---------------------------------|---|
| Pollution des sols | Pollution au droit du projet à vérifier (zone de dépôt/décharge/déchets) Site BASOL le plus proche situé à 800m Nombreux sites BASIAS à proximité (7 à environ 200m de distance) |
| Réseaux aériens et ferroviaires | Ligne ferroviaire la plus proche : 1,23km Proximité des pistes de l'aéroport d'Orly (moins d'1,5km) |
| Captages AEP | Pas de captage AEP à proximité |
| Concessions pétrolières | Pas de concession proche |
| Proximité d'autoroute | Terrain à proximité de deux autoroutes majeures. Le mât d'une machine de forage mesure 36m de haut (risque en cas de chute) |
| Utilisation actuelle | Stockage de déchets, Poste de transformation DIRIF sur la parcelle |
| Conclusion | Le terrain est compatible avec un forage géothermique moyennant plusieurs points d'attention : le relief de la parcelle, la proximité avec les autoroutes et l'aéroport d'Orly, le stockage de déchets sur site |

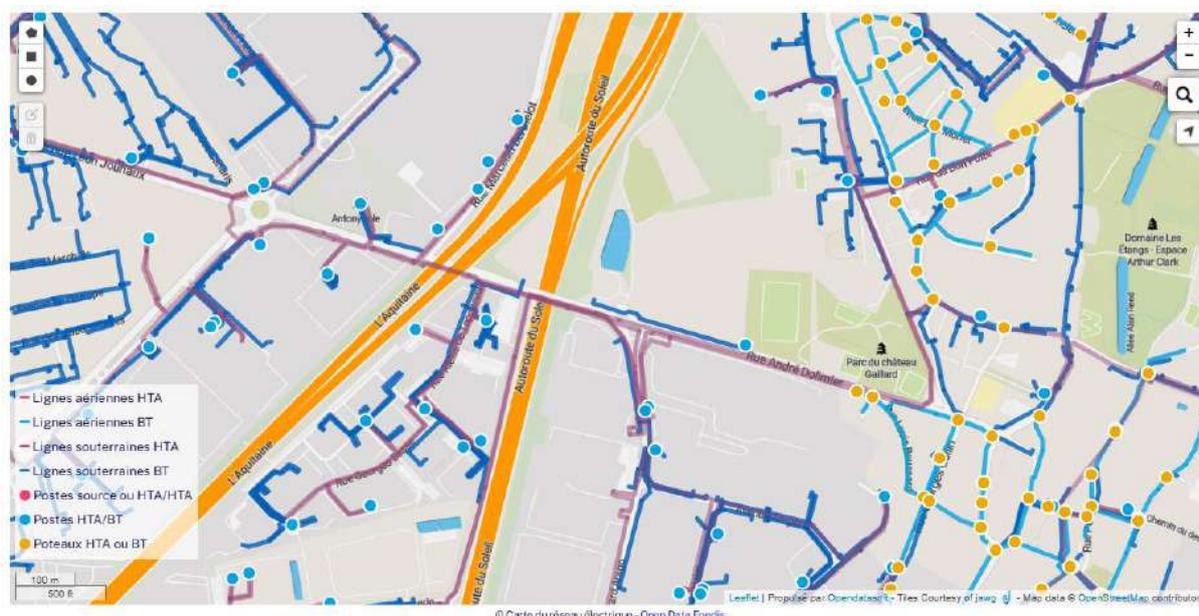
Tableau 1 - Contraintes du site de forage

Le site de forage envisagé est localisé à proximité des autoroutes. Des projets localisés à proximité de l'autoroute ont cependant déjà été effectués : la tête de puits du projet de Fresnes, foré avec le rig SMP101, disposant d'un mât haubané de 36 m, est située à moins de 30 m de l'autoroute. La zone au centre du terrain envisagé pour le projet d'Antony se trouve à plus de 40 m des autoroutes (Figure 5).



Figure 5 – Proximité du site de forage envisagé avec les autoroutes

Le réseau électrique dans le secteur du terrain de forage envisagé est relativement dense.



| Jeu de données | Ensemble de données | Données de la zone sélectionnée (à l'aide des outils de sélection) |
|--------------------------|---|---|
| Lignes aériennes HTA |  |  (1 049 642 enregistrements) ⚠ |
| Lignes aériennes BT |  |  (3 971 720 enregistrements) ⚠ |
| Lignes souterraines HTA |  |  (1 238 585 enregistrements) ⚠ |
| Lignes souterraines BT |  |  (7 050 258 enregistrements) ⚠ |
| Postes source ou HTA/HTA |  |  (2 743 enregistrements) |
| Postes HTA/BT |  |  (950 172 enregistrements) ⚠ |
| Poteaux HTA ou BT |  |  (5 798 331 enregistrements) ⚠ |

Figure 6 – Carte du réseau électrique dans le secteur du site envisagé (Source : ENEDIS)

Le site de forage envisagé présente également un relief à considérer : un terrassement important est à prévoir. La topographie du site est présentée sur les figures ci-après. La zone bleutée représente une surface utile sans décaissement excessif du terrain de 5500m² : cette surface serait suffisante pour positionner un rig lourd. La surface orangée, d'un nivellement de 84 à 88m NGF, serait utilisable en rampe d'accès.

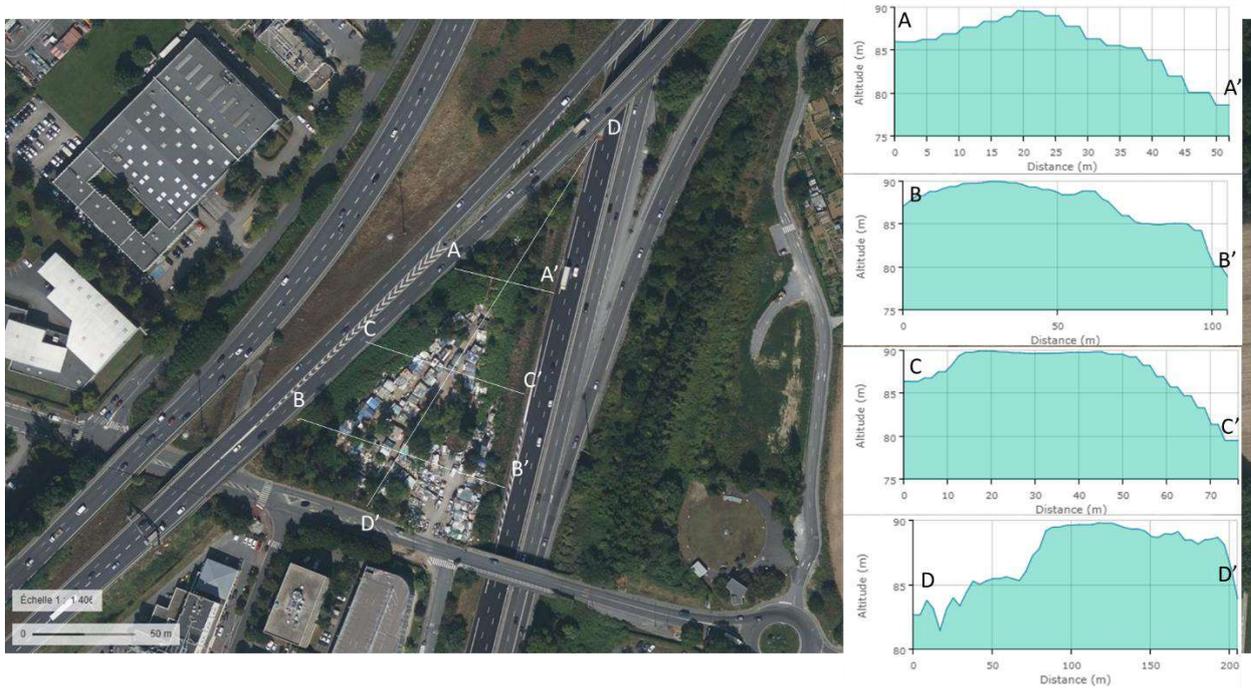


Figure 7 – Profils altimétriques sur le site de forage envisagé



Figure 8 – Carte topographique au niveau du site de forage envisagé



Figure 9 – Topographie générale du terrain de forage envisagé



Figure 10 – Photographies du site (selon les points de vue indiqués sur la figure précédente)

Concernant les servitudes aériennes liées aux zones de dégagement aéronautique, le projet est situé dans le cône intérieur de la surface de dégagement limitant la hauteur à 137 m NGF. Il ne se situe pas dans la trouée (il est donc soumis à moins de contraintes). La hauteur générale de la parcelle étant de 89 m NGF et celle d'un mât de forage de 36 m, la hauteur maximum possible à considérer est de 125 m NGF, soit 12 m en dessous de la surface de dégagement. Ce terrain serait ainsi compatible avec les servitudes aériennes du secteur.

VUES EN PERSPECTIVE DES SURFACES DE DÉGAGEMENT

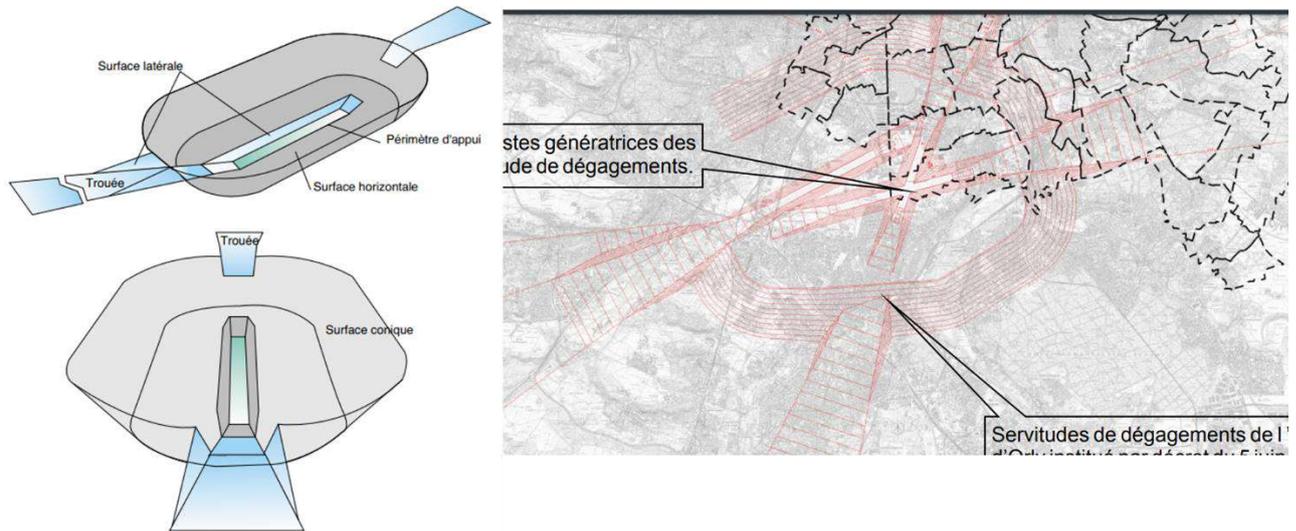
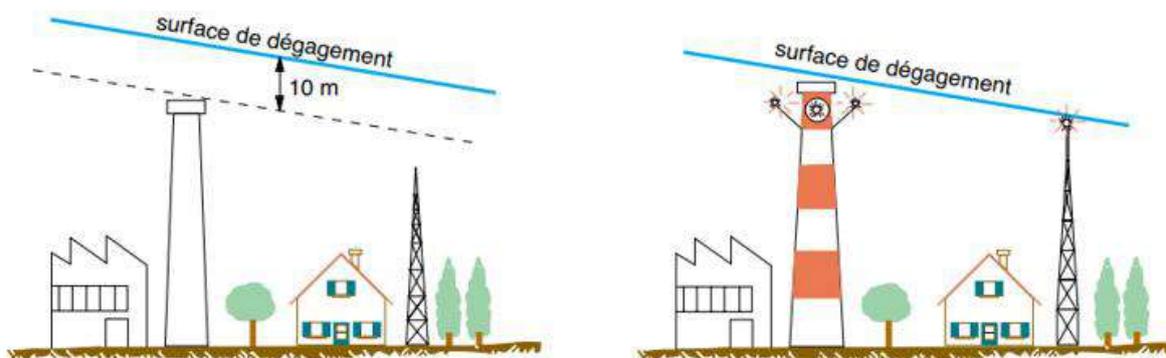


Figure 11 – Schéma explicatif et localisation du projet par rapport aux zones de dégagements aéronautiques

Pour information, les obstacles tels que pylônes, cheminées d’usines, antennes, appelés obstacles minces, se voient appliquer des dispositions particulières du fait de leur visibilité réduite.



S'ils ne sont pas balisés leur sommet doit se trouver à 10 mètres au-dessous d'une surface de dégagement.

S'ils sont balisés : leur altitude peut atteindre celle d'une surface de dégagement.

Figure 12 – Réglementation des obstacles par rapport aux zones de dégagement

Le site de forage envisagé est très étendu et semble relativement facile d'accès. L'aménagement de la plateforme qui accueillera les ouvrages représente cependant un enjeu important étant donné le dénivelé du terrain (il faudrait considérer des travaux d'aplanissement ou une implantation de forage sur deux niveaux pour s'affranchir du dénivelé), la proximité avec les autoroutes et l'aéroport d'Orly, et le stockage de déchets sur site.

3. Implantation sur le futur site de forage

Le site retenu est partiellement contraint par la servitude de protection des centres radioélectriques d'émission et de réception contre les obstacles, définissant une hauteur maximale constructible des obstacles (cf. figure suivante).

Le site n'est contraint par aucune servitude relative à la conservation du patrimoine culturel et sportif.

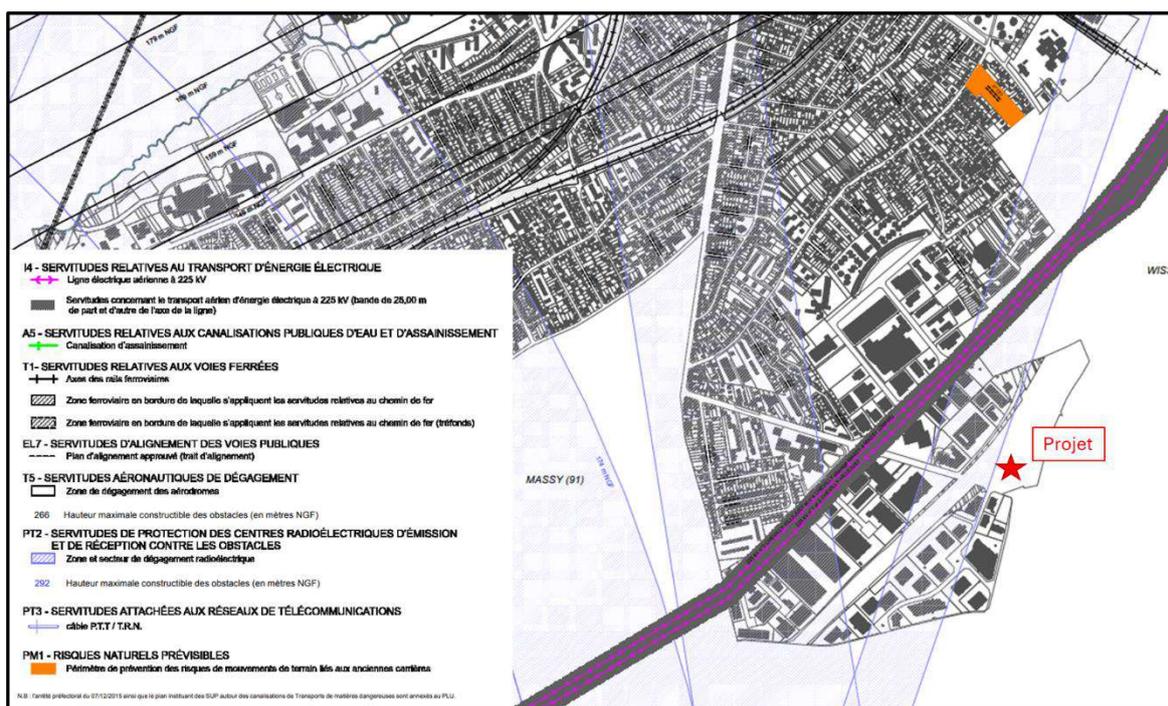


Figure 13 - Contraintes immédiates qui s'appliquent au site de forage envisagé (Source : PLU d'Antony)

L'implantation du doublet prend en compte les éléments suivants :

- Les contraintes de SUP et du PLU qui s'appliquent sur le terrain ;
- Un accès poids lourds à conserver pendant les travaux et toute la durée de vie du doublet ;
- Une plateforme d'au moins 5 000 m² pour la réalisation des travaux de forage ;
- Une surface de servicing de 1 500 m² à conserver pendant toute la durée de vie du doublet ;
- Une centrale géothermique d'au moins 800 m² en surface au sol.

Des propositions d'implantation de forage et de placement d'une machine de type SMP106 sont présentées ci-après (Figure 14 et Figure 15). La configuration présentée sur ces figures rend possible la circulation de poids lourds autour du rig.

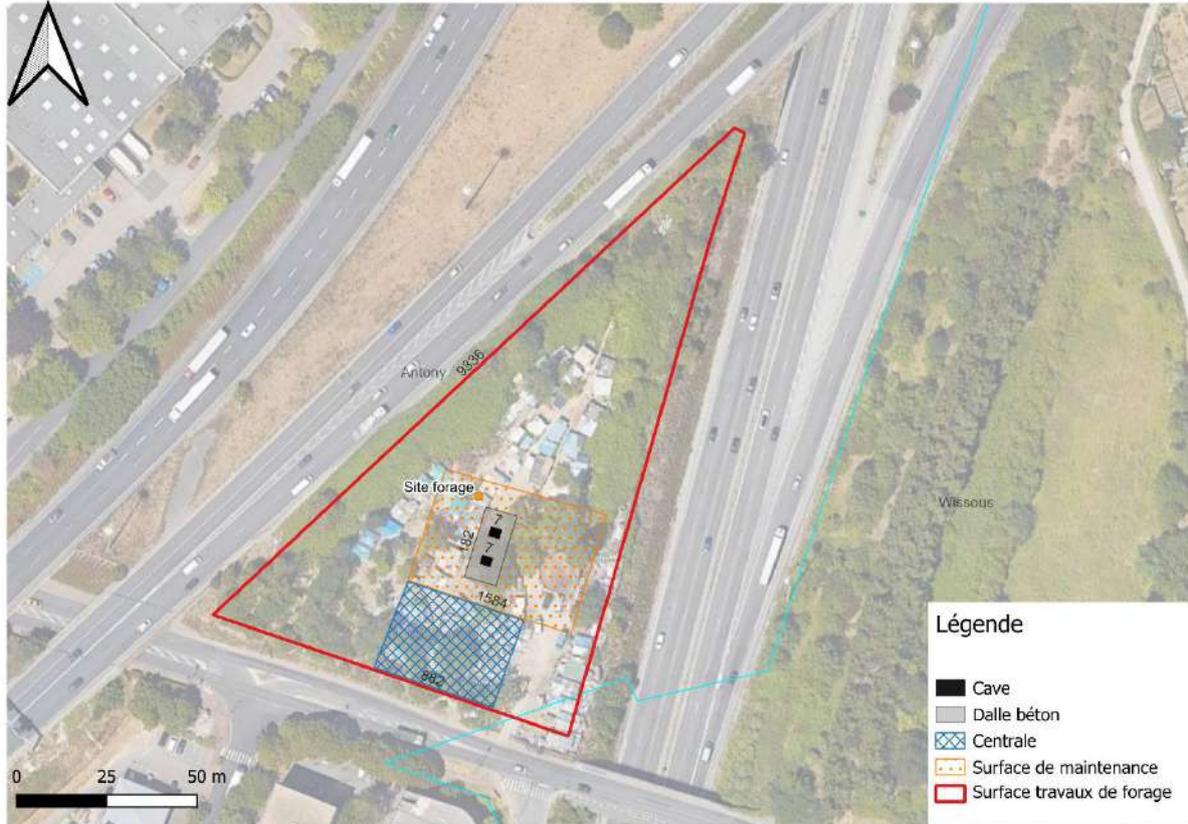


Figure 14 – Proposition d’implantation de forage

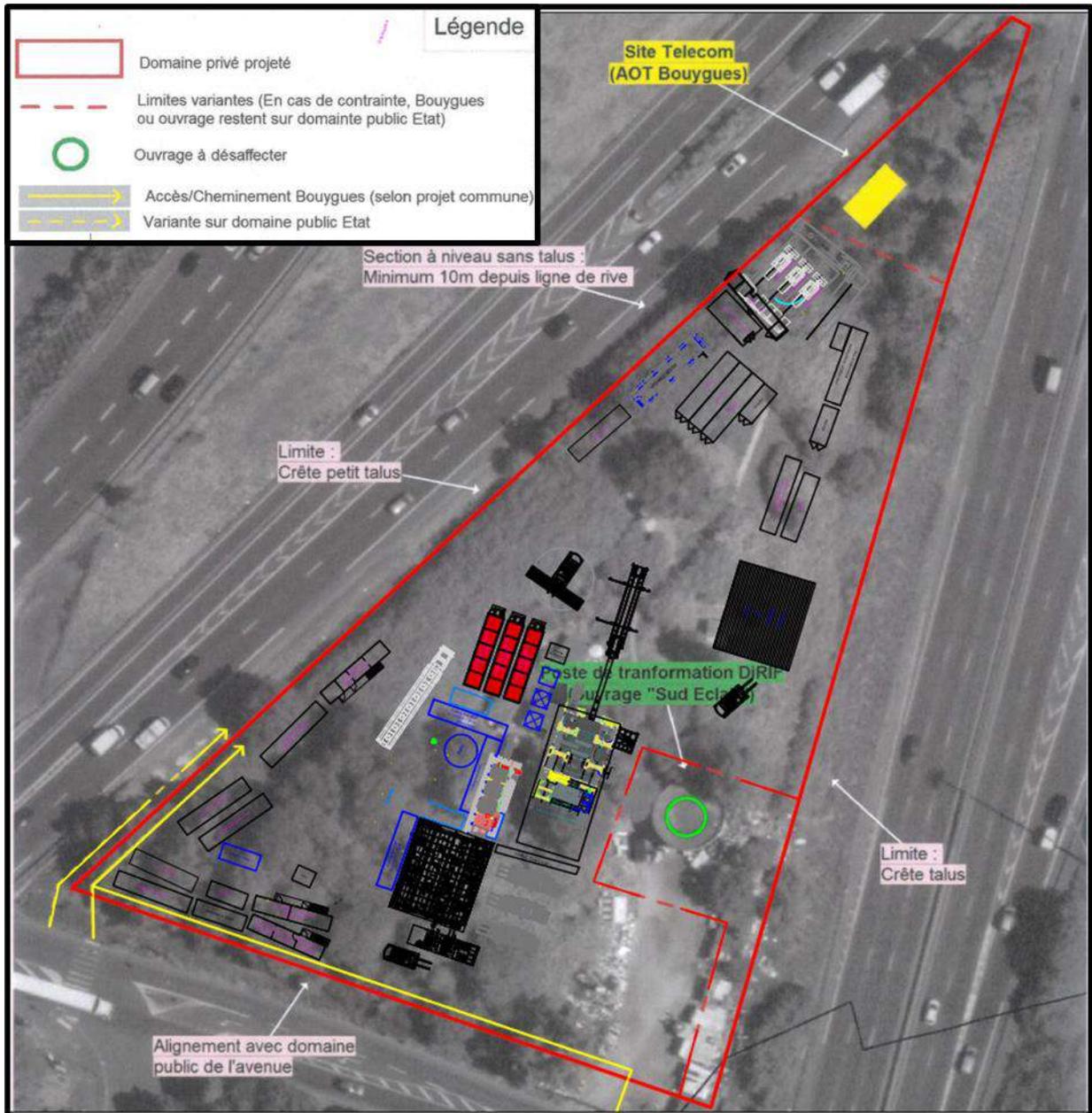


Figure 15 – Proposition d’implantation d’appareil de forage sur le site

4. Caractérisation du réservoir

4.1. Contexte géologique

4.1.1. Contexte géologique régional

Le projet est localisé dans le Bassin de Paris, bassin sédimentaire d'environ 600 km de diamètre bordé par le Massif armoricain, le Massif Central, les Vosges et les Ardennes. Dans ce bassin sédimentaire se sont déposées des formations géologiques d'épaisseur et de nature variées (craie, argiles, sables, calcaires, etc.). Essentiellement d'origine marine, ces formations sont disposées en couches successives, les plus récentes affleurent au centre et les plus anciennes en bordure du bassin (Figure 16). Ce sont ces dernières qui atteignent les plus grandes profondeurs au centre du bassin.

Plusieurs formations parmi ces niveaux géologiques sont aquifères, dont le Jurassique moyen (Dogger). La productivité de ces aquifères varie latéralement selon la nature lithologique et l'épaisseur des niveaux favorables. La température des eaux souterraines contenues dans ces aquifères dépend en grande partie de leur profondeur.

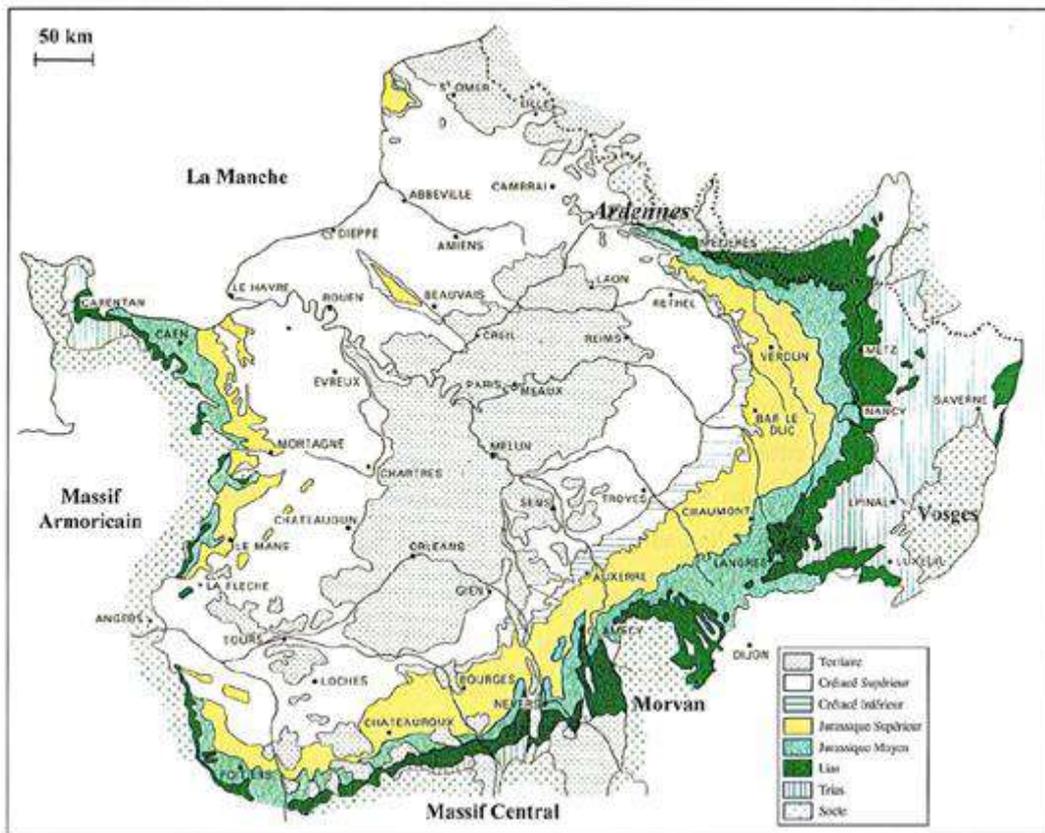


Figure 16 – Géologie simplifiée du Bassin parisien (Source : Demars, 1994)

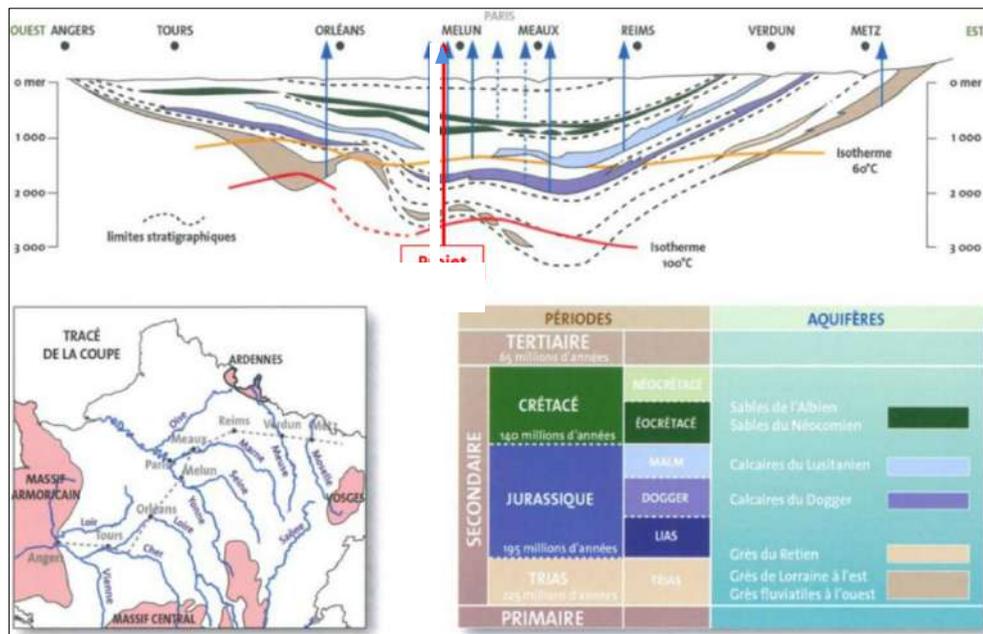


Figure 17 – Coupe géologique du Bassin parisien – Localisation des aquifères (Source : ADEME BRGM)

D'un point de vue structural, une faille mineure d'axe Nord-Sud est présente à proximité, mais ne devrait pas impacter le projet. Cette structure sera surveillée sur le projet Geoscan.

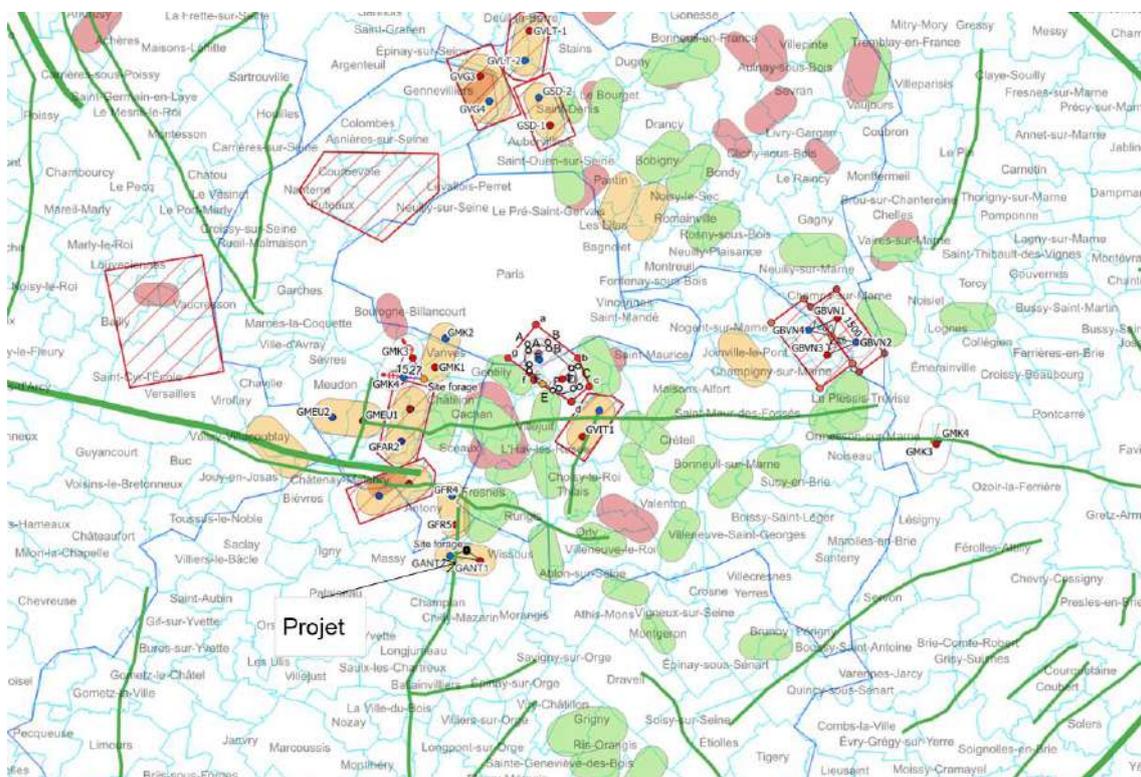


Figure 18 – Cadre structural dans le secteur du projet

4.1.2. Lithologie au droit du site

Le log géologique des formations profondes, non affleurantes au droit du site, a été établi à partir des informations géologiques tirées des puits géothermiques alentours :

- Le puits de Châtenay-Malabry, au Nord-Ouest (5,6km)
- Le puits de Fresnes, au Nord (2,4km)
- Le puits ADP, à l'Est (4km)
- Le puits de Longjumeau, au Sud (5,7km)



Figure 19 – Localisation des puits profonds à proximité du projet d'Antony

La carte géologique du secteur du projet est présentée ci-dessous.

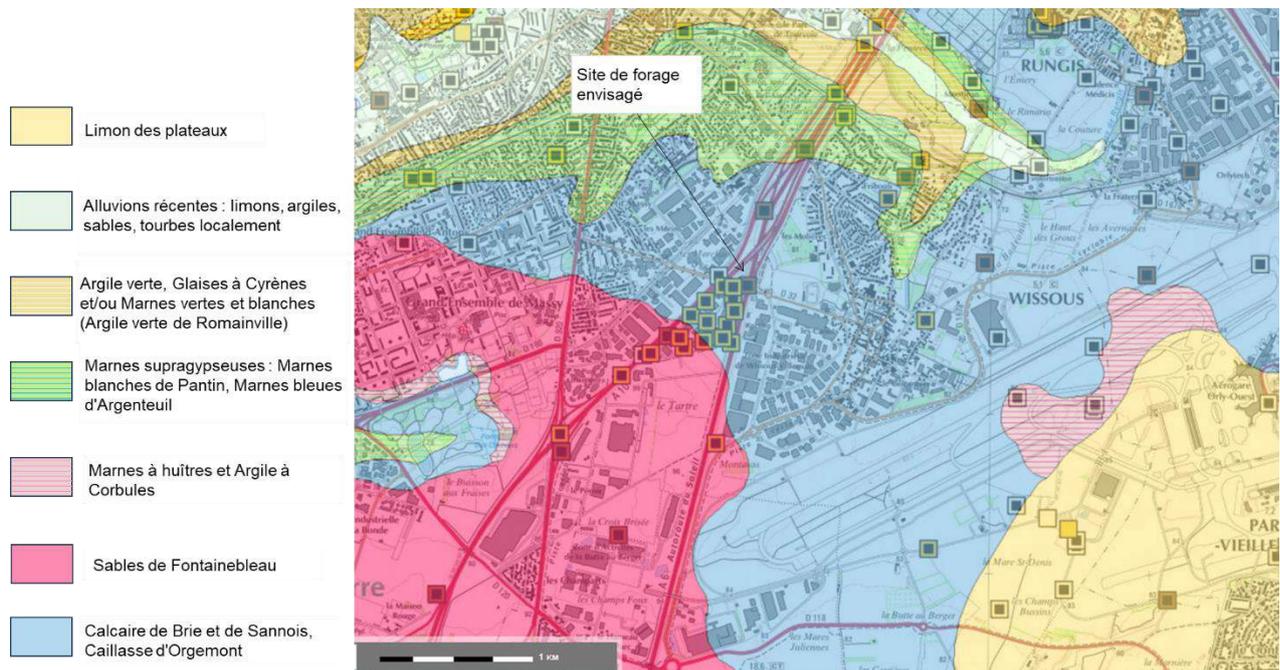


Figure 20 – Carte géologique au droit du projet

Les profondeurs et la lithologie des formations géologiques attendues au droit du site d'Antony sont fournies dans le tableau ci-dessous. L'altimétrie retenue pour le terrain de forage est de +89 m NGF. Les avant-trous seraient à placer dans les marnes priaboniennes, avant le calcaire de Saint Ouen.

| Système | Stratigraphie | Lithologie/Formation | GANT1 | | | | | GANT2 | | | | |
|-------------|------------------------------|---|----------|---------|--------------|-------------|---------------|----------|---------|--------------|-------------|---------------|
| | | | Toit (m) | Mur (m) | Toit (m NGF) | Mur (m NGF) | Epaisseur (m) | Toit (m) | Mur (m) | Toit (m NGF) | Mur (m NGF) | Epaisseur (m) |
| Quaternaire | Quaternaire | Alluvions ; Argile sableuse, calcaire, limon des plateaux | 0 | 3 | 89 | 86 | 3 | 0 | 3 | 89 | 86 | 3 |
| tertiaire | Rupélien | Argile, calcaire, marnes | 3 | 9 | 86 | 80 | 6 | 3 | 9 | 86 | 80 | 6 |
| | Priabonien | Argile, marnes | 9 | 57 | 80 | 32 | 48 | 9 | 57 | 80 | 32 | 48 |
| | Bartonien | Sables, calcaire | 57 | 80 | 32 | 9 | 23 | 57 | 80 | 32 | 9 | 23 |
| | Lutétien | Calcaire, marnes | 80 | 115 | 9 | -26 | 35 | 80 | 115 | 9 | -26 | 35 |
| | Yprésien | Sables, argiles | 115 | 159 | -26 | -70 | 44 | 115 | 159 | -26 | -70 | 44 |
| crétacé | Sénonien | Craie à silex | 159 | 459 | -70 | -370 | 300 | 159 | 459 | -70 | -370 | 300 |
| | Turonien | Craie à silex | 459 | 624 | -370 | -535 | 165 | 459 | 624 | -370 | -535 | 165 |
| | Cénomaniens | Calcaires sablo-argileux | 624 | 664 | -535 | -575 | 40 | 624 | 664 | -535 | -575 | 40 |
| | Gault | Argiles | 664 | 702 | -575 | -613 | 38 | 664 | 702 | -575 | -613 | 38 |
| | Albien-Aptien | Sables, argiles | 702 | 802 | -613 | -713 | 100 | 702 | 802 | -613 | -713 | 100 |
| | Barrémien-Hauterivien | Argiles, sables | 802 | 892 | -713 | -803 | 90 | 802 | 885 | -713 | -796 | 83 |
| | Néocomien | Sables, argiles, lignites | 892 | 957 | -803 | -868 | 65 | 885 | 950 | -796 | -861 | 65 |
| Jurassique | Purbeckien | Dolomies, calcaire dolomitique | 957 | 982 | -868 | -893 | 25 | 950 | 974 | -861 | -885 | 24 |
| | Portlandien | Calcaires, argiles | 982 | 1097 | -893 | -1008 | 115 | 974 | 1089 | -885 | -1000 | 115 |
| | Kiméridgien | Argiles, calcaires | 1097 | 1227 | -1008 | -1138 | 130 | 1089 | 1219 | -1000 | -1130 | 130 |
| | Séquanien | Calcaires ± oolitiques | 1227 | 1327 | -1138 | -1238 | 100 | 1219 | 1316 | -1130 | -1227 | 97 |
| | Rauracien | Calcaires oolitiques | 1327 | 1442 | -1238 | -1353 | 115 | 1316 | 1426 | -1227 | -1337 | 110 |
| | Argovien | Argiles calcaires sableuses | 1442 | 1542 | -1353 | -1453 | 100 | 1426 | 1524 | -1337 | -1435 | 98 |
| | Oxfordien | Calcaires argilo-sableux | 1542 | 1587 | -1453 | -1498 | 45 | 1524 | 1566 | -1435 | -1477 | 42 |
| | Callovien | Argiles calcaires sableuses | 1587 | 1632 | -1498 | -1543 | 45 | 1566 | 1611 | -1477 | -1522 | 45 |
| | Bathonien (Dogger) | Calcaires micritiques et oolitiques ou graveleux | 1632 | 1712 | -1543 | -1623 | 80 | 1611 | 1690 | -1522 | -1601 | 79 |
| Bajocien | Calcaire argileux et gréseux | 1712 | | -1623 | | | 1690 | | -1601 | | | |

Tableau 2 – Coupe géologique prévisionnelle au droit du site de forage

4.2. Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du réservoir du Dogger

4.2.1. Le Dogger : une ressource bien connue en Île-de-France

Les calcaires du Dogger constituent une réserve d'eau chaude exploitée pour la géothermie, au droit de la région parisienne et de l'Île-de-France.

Ils doivent cette particularité à deux caractéristiques :

- Une température élevée,
- Des débits possibles souvent importants.

La température élevée est liée essentiellement à la profondeur de la formation.

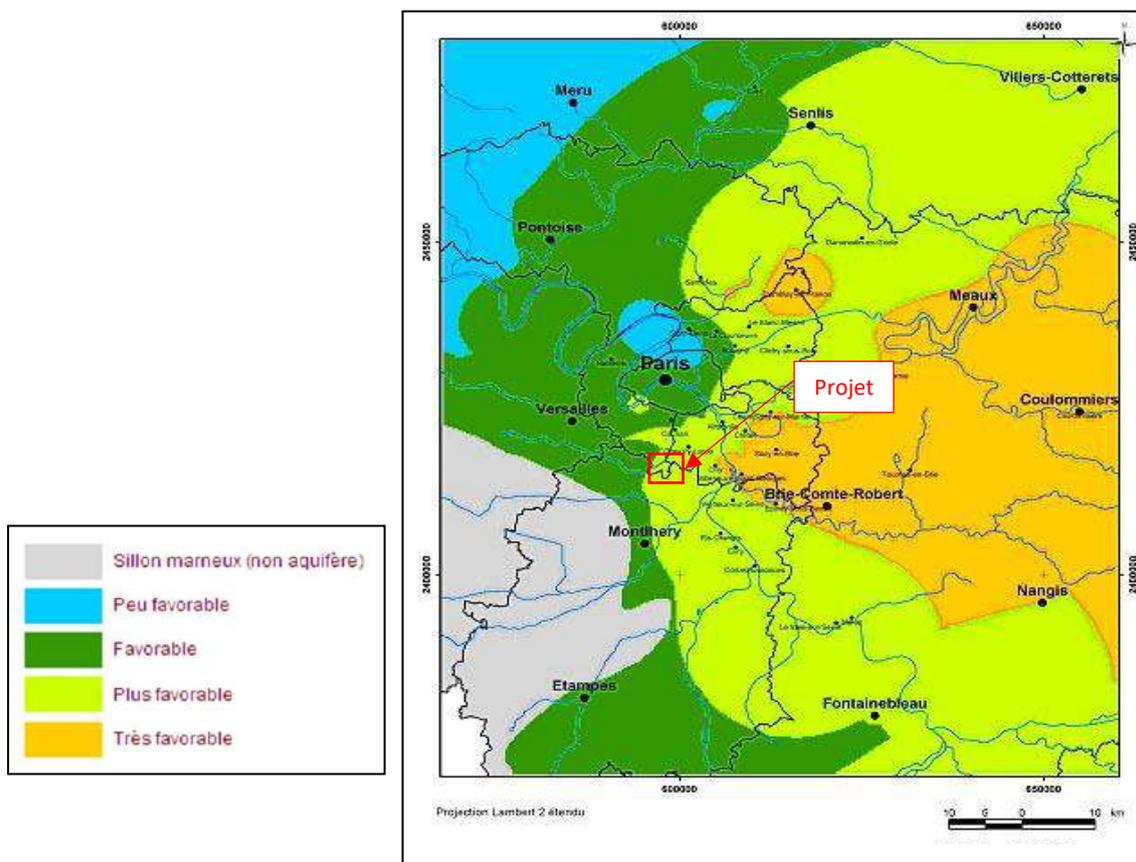


Figure 21– Exploitable géothermique du Dogger en Île-de-France (Source : www.geothermie-perspectives.fr)

En effet, le Bassin parisien comprend un empilement de couches sédimentaires dont la partie la plus profonde se situe en Île-de-France (plus précisément dans la région de Meaux-Coulommiers) alors que sur les bordures, en Normandie, en Région Centre ou en Bourgogne, ces couches remontent et affleurent. Le gradient géothermique est en moyenne de 3°C /100 m. Il vaut un peu plus en Île-de-France avec 3,6°C/100 m.

Selon les secteurs, la perméabilité des calcaires permet d'obtenir des débits compris entre 100 et plus de 350 m³/h à partir d'un forage.

La formation du Dogger couvre environ 15 000 km², soit la quasi-totalité du Bassin parisien. L'alimentation de la nappe se fait essentiellement sur les bordures qui constituent les zones principales de recharge.

C'est une formation qui bénéficie d'une bonne connaissance, liée à la recherche pétrolière et à l'exploitation géothermique. Plus d'une centaine de forages y ont été réalisés.

Les zones les plus productives en eau ont surtout été mises en évidence dans le secteur délimité par un quadrilatère dont les sommets sont approximativement Fontainebleau, Cergy-Pontoise, Creil et Meaux. Cette zone se caractérise par une forte densité d'habitat avec présence de réseaux de chaleur, ce qui explique le développement local de la géothermie : la plus importante de France et l'une des plus importantes d'Europe.

On retiendra donc que cet aquifère peut présenter des variations latérales de porosité liées à l'énergie élevée des dépôts oolithiques, à la variation de fréquence de fracturation dans le réservoir, à la phase de cimentation dans les calcaires mais également que des hétérogénéités de productivité qui peuvent exister localement puisqu'une part de la perméabilité est d'origine fissurée.

4.2.2. Altitude du sommet du Dogger

L'altitude du toit du Dogger semble s'approfondir vers l'Est dans le secteur. Les cartes de caractérisation de la ressource géothermale sont estimées par krigeage sur les opérations géothermiques les plus proches. Un krigeage est un calcul statistique qui, à partir des données ponctuelles disponibles, fournit la valeur en un point sur une surface donnée. Les données qui ont permis d'estimer la ressource sur la commune d'Antony proviennent des opérations géothermiques de Fresnes, Chevilly-Larue, Bagneux, Paray-Vieille-Poste, l'Haÿ-les-Roses, Vigneux-sur-Seine... La robustesse de ces estimations est d'autant plus forte que le nombre de données couvrant le secteur est important.

L'altimétrie retenue du toit du réservoir sur la commune est comprise entre -1500 m NGF et -1540 m NGF. L'altitude du toit du Dogger est estimée à environ -1530 m NGF +/- 20m au droit du site de forage potentiel, à environ -1520 m NGF pour l'injecteur et -1540m NGF pour le producteur.

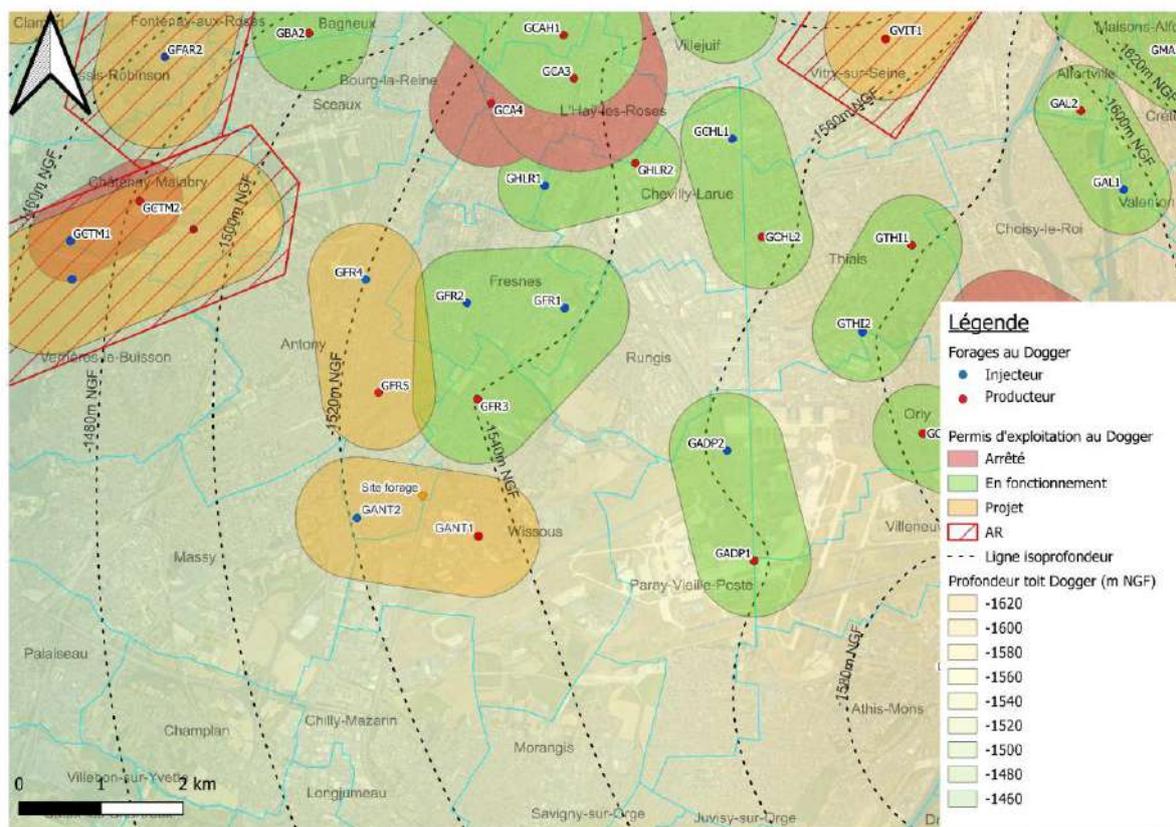


Figure 22 – Carte d’altimétrie au Dogger dans le secteur d’étude

4.2.3. Température du réservoir du Dogger

De manière analogue à l’estimation de la profondeur du réservoir, la température du Dogger a été estimée par krigeage. Elle est comprise entre 70 et 74°C sur la commune. Au niveau du puits producteur la température serait de 74 +/- 2°C.

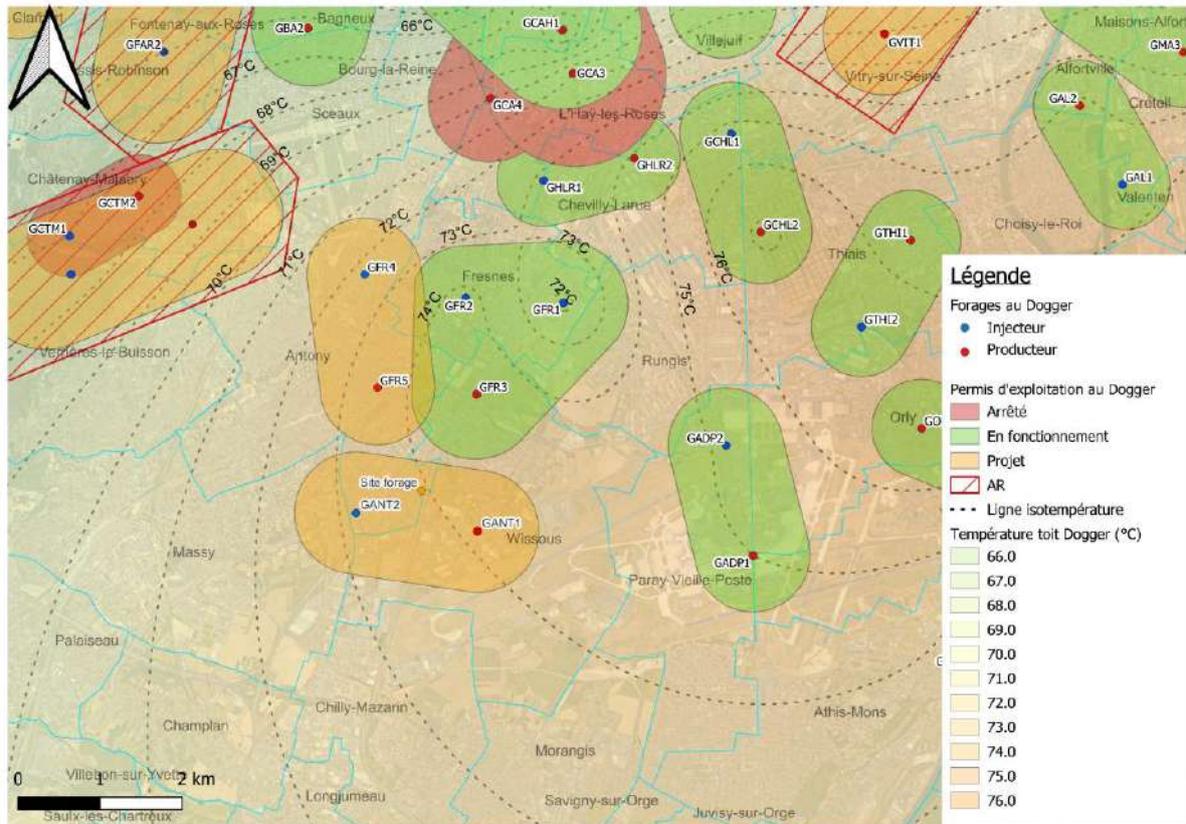


Figure 23 – Carte de température dans le secteur d'étude

4.2.4. Transmissivité du réservoir du Dogger

Avec le même raisonnement, les valeurs de transmissivité au Dogger ont été estimées (Figure 24). La transmissivité est relativement moyenne voire faible dans le secteur. Les valeurs attendues sur le territoire d'Antony sont estimées entre 10 et 15 D.m.

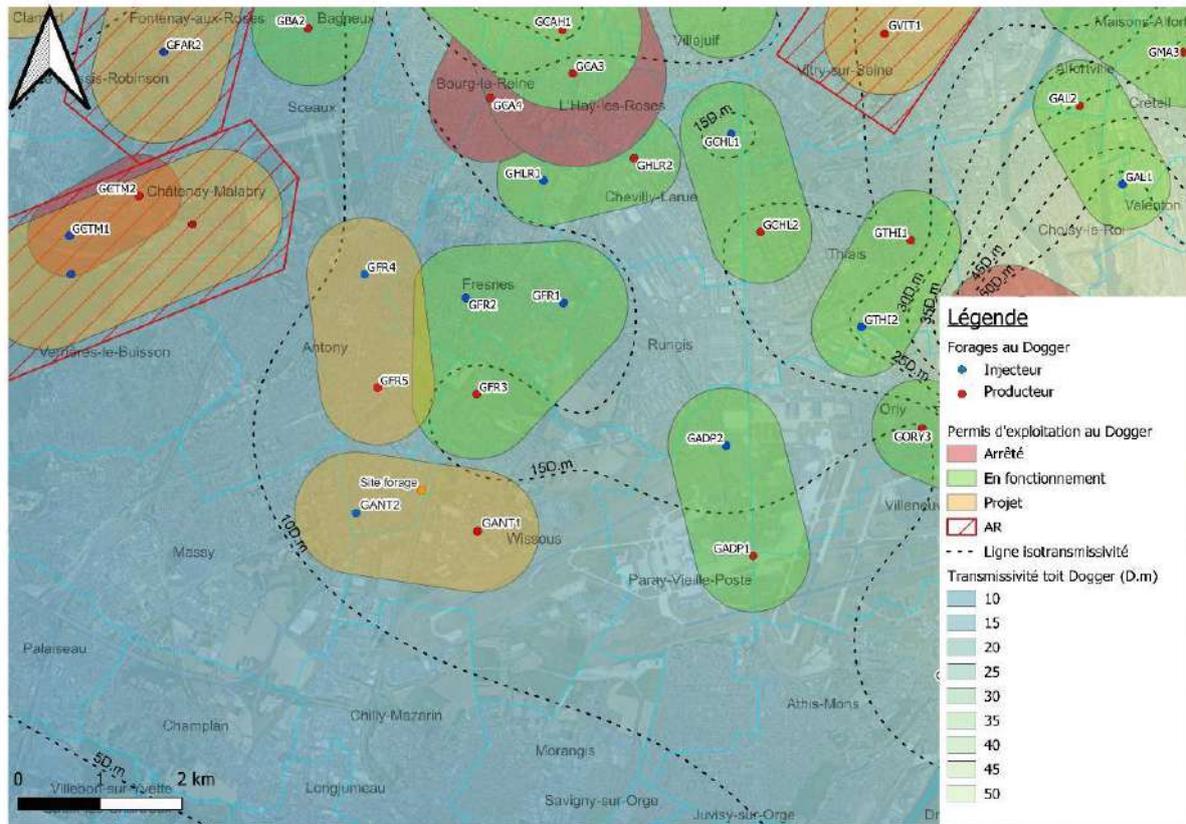


Figure 24 – Carte de transmissivité dans le secteur d'étude

4.2.5. Salinité du réservoir

Au niveau d'Antony, la salinité du Dogger est relativement élevée. Une valeur de 17 g/L +/- 2 a été retenue sur le territoire (Figure 25).

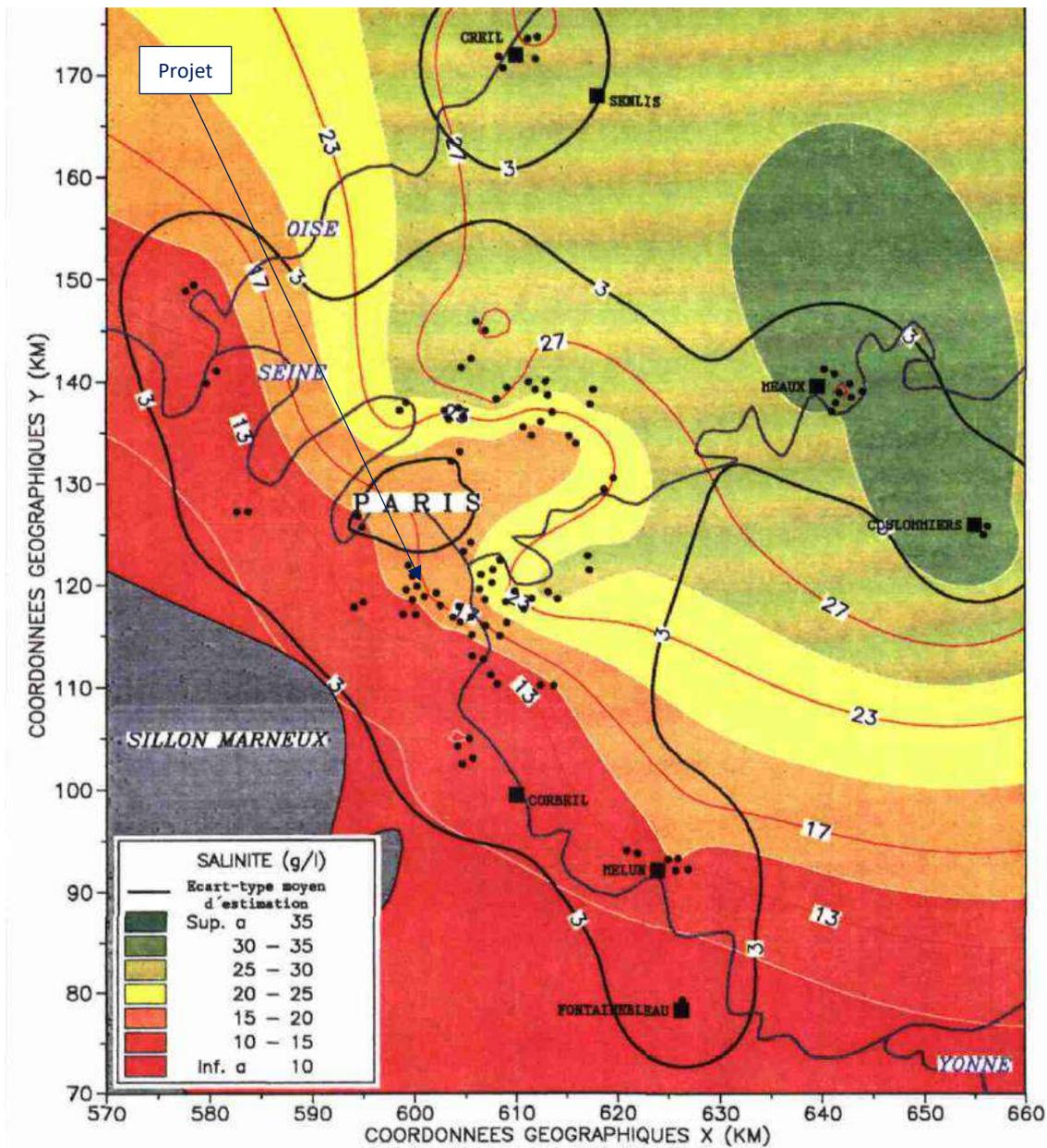


Figure 25 - Carte de salinité du Dogger (Source : BRGM - Caractérisation et modélisation du réservoir géothermique du Dogger Bassin parisien, France)

4.2.6. Bilan sur la qualité de la ressource

Finalement, il est possible de retenir les estimations suivantes pour qualifier le Dogger à Antony.

| Caractéristiques | Projet d'Antony |
|--|------------------|
| Profondeur du toit (mNGF) | -1530 ± 20 m NGF |
| Température de fond au niveau du producteur (°C) | 74 ± 2°C |
| Transmissivité (D.m) | 10 à 15 D.m |
| Salinité (g/L) | 17 ± 2 g/L |

Sur la base de ces informations, une première proposition est faite pour le positionnement de la gélule. Cette proposition permet :

- D'insérer le projet d'Antony dans un contexte dense d'exploitation de la ressource ;
- De s'éloigner un maximum des autres projets en activités ;
- De conserver des dépôts raisonnables concernant le dimensionnement des ouvrages.

4.2.7. Performances prévisionnelles

Le krigeage sur la transmissivité estime une valeur de 10 à 15 D.m à Antony.

Les scénarii prennent en compte les hypothèses suivantes :

- Une salinité de 17 g/L ;
- Une altitude de +89 mNGF ;
- Une température de production de 74°C ;
- Un diamètre de tubage de production conventionnel en 9''5/8 et un forage en 8''1/2 ;
- Des architectures de puits **multidraîns** dans le découvert ;
- Une profondeur de chambre de pompage de 400 m/sol.

Les courbes de production permettent de rendre compte qu'un débit de 450 m³/h pourra être atteint même pour une transmissivité de 10 D.m

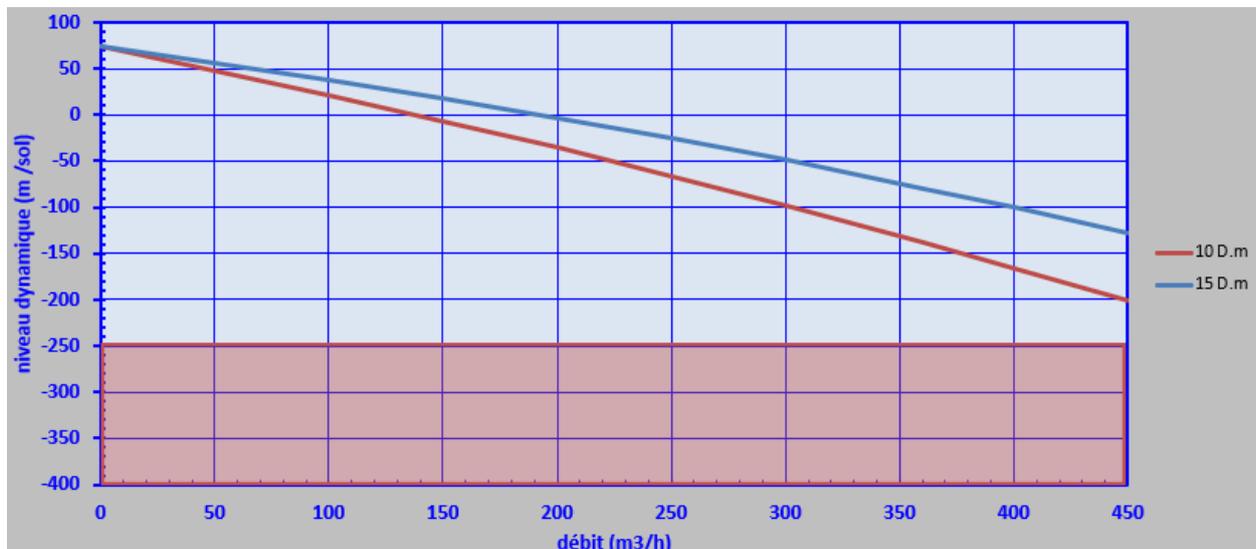


Figure 26 – Performances prévisionnelles du doublet d'Antony

5. Modélisation numérique du réservoir : Evaluation de l'impact du nouveau doublet au Dogger

5.1. Modèle conceptuel du réservoir

5.1.1. Code de calcul utilisé

Le modèle est construit avec le logiciel MARTHE, version 7.7, développé au sein du Groupe BRGM. Élaboré en 1980 et régulièrement développé depuis cette époque pour répondre aux évolutions des standards informatiques et pour intégrer de nouvelles fonctionnalités en hydrodynamique et en transport, ce code de modélisation est dédié spécifiquement à la simulation des ressources souterraines (évaluation et gestion des ressources aquifères, impact de prélèvements et d'aménagements) et des transferts d'éléments dissous (éléments chimiques, éléments radioactifs, biseaux salés, transferts thermiques). Il s'agit d'un code de calcul en différences finies, utilisant un maillage de type « écossais » (colonnes et lignes de largeurs variables), monocouche (en plan ou en coupe verticale), multicouche ou 3D, avec possibilité de sous-maillages gigognes pour une représentation précise des géométries, simulant l'hydrodynamique et le transport hydro dispersif et thermique en régime permanent et en régime transitoire.

5.1.2. Hypothèses de calcul retenues

Les hypothèses de base retenues pour les simulations des écoulements et du transport de chaleur sont les suivantes :

- Écoulement dans la zone saturée des aquifères,
- Milieu poreux multicouches,
- Écoulement en régime transitoire,
- Transport de chaleur en régime transitoire.

5.1.3. Extension horizontale du modèle

Le modèle est un rectangle de superficie d'environ 370 km² (Figure 27), avec des mailles carrées de 200 m de large et 200 m de long et un maillage de gigogne plus fin (Figure 28), centré sur la zone d'étude et englobant les opérations géothermiques voisines au Dogger indiquées dans le Tableau 3.

| Communes | Nom | Fonction | Débit Moyen (m3/h) | Température moyenne de réinjection (°C) | Date de démarrage | Date d'arrêt |
|--------------------|-------|------------|--------------------|---|-------------------|--------------|
| Bagneux | GBA1 | INJECTEUR | 202 | 51 | Sept-16 | - |
| | GBA2 | PRODUCTEUR | | | | |
| L'Hay-les-Roses | GHLR1 | INJECTEUR | 207/190 | 45/42.6 | Oct- 85/Jan-20 | Jan-20/ - |
| | GHLR2 | PRODUCTEUR | | | | |
| Chevilly-Larue | GCHL1 | INJECTEUR | 209/190 | 41/37.9 | Oct- 85/Jan-20 | Jan-20/ - |
| | GCHL2 | PRODUCTEUR | | | | |
| Fresnes 1 | GFR1 | INJECTEUR | 156 | 49 | Jan-87 | Août-14 |
| | GFR2 | PRODUCTEUR | | | | |
| Fresnes 2 | GFR1 | INJECTEUR | 264 | 55 | Août-14 | - |
| | GFR2 | INJECTEUR | | | | |
| | GFR3 | PRODUCTEUR | | | | |
| Fresnes 3 | GFR4 | INJECTEUR | 280 | 40 | Jan-26 | - |
| | GFR5 | PRODUCTEUR | | | | |
| Châtenay-Malabry | GCTM1 | INJECTEUR | 124 | 46 | Oct-84 | Déc-97 |
| | GCTM2 | PRODUCTEUR | | | | |
| | GCTM3 | PRODUCTEUR | 264 | 42 | Jan-26 | - |
| | GCTM4 | INJECTEUR | | | | |
| Fontenay-aux-Roses | GFAR1 | PRODUCTEUR | 243 | 35.8 | Jan-26 | - |
| | GFAR2 | INJECTEUR | | | | |
| Meudon | GMEU1 | PRODUCTEUR | 270 | 36.9 | Jan-27 | - |
| | GMEU2 | INJECTEUR | | | | |
| Orly ADP | GADP1 | PRODUCTEUR | 200 | 58 | Fev-11 | - |
| | GADP2 | INJECTEUR | | | | |
| Thiais | GTHI1 | PRODUCTEUR | 150 | 53.3 | Juil-86 | Mars-23 |
| | GTHI2 | INJECTEUR | | | | |
| Rungis | GRUN1 | PROUDCTEUR | 180 | 24 | 2027 | - |
| | GRUN2 | INJECTEUR | | | | |

Tableau 3 - Exploitations géothermiques prises en compte dans le modèle

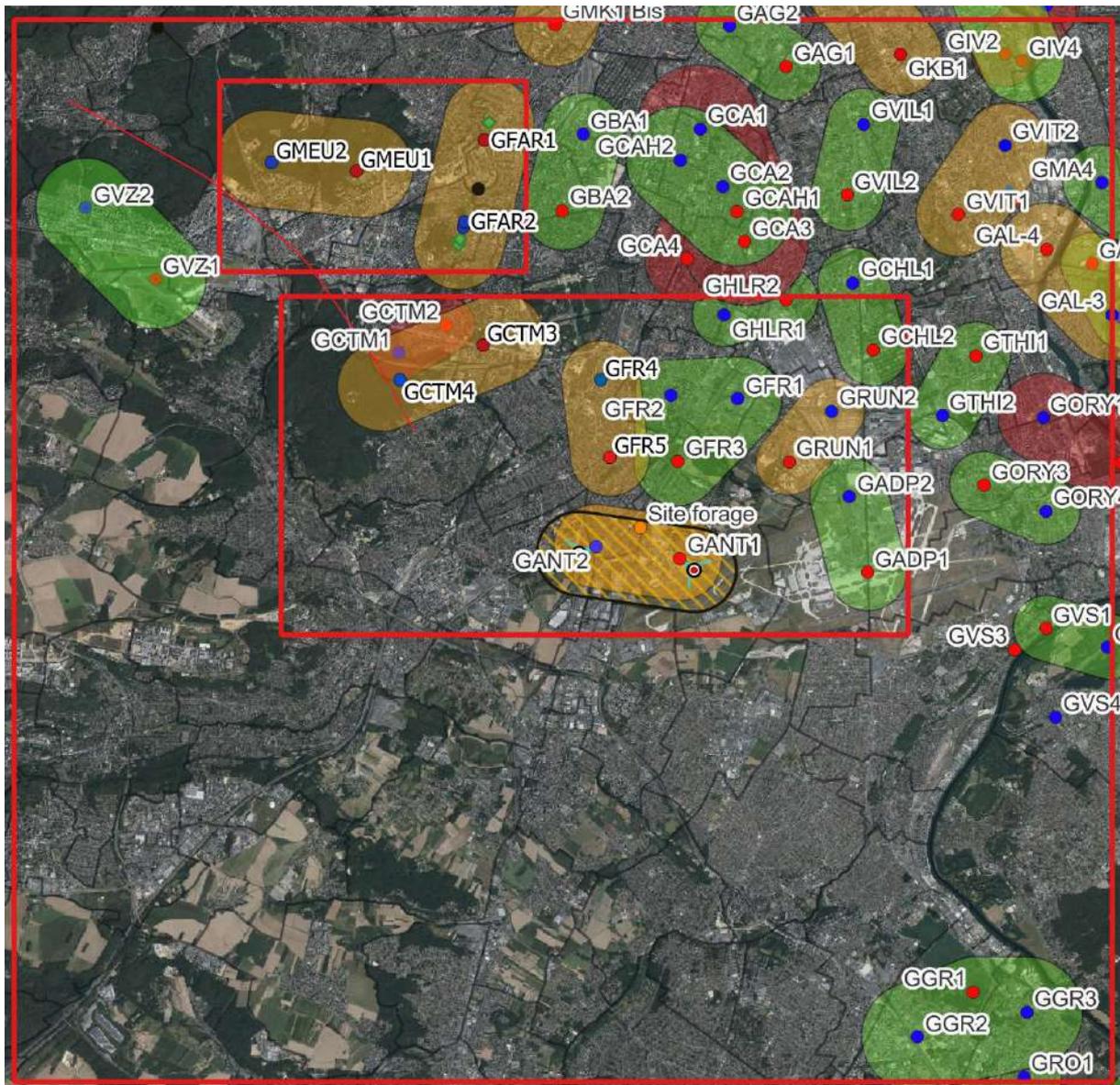


Figure 27 – Contours du modèle hydrogéologique

5.1.4. Discrétisation horizontale et verticale

Le code MARTHE met en œuvre plusieurs algorithmes de calcul en volumes finis, impliquant des maillages constitués de parallélépipèdes agencés en couches.

Concrètement, le maillage élaboré pour la présente étude géothermique comporte :

- Un maillage principal à grille régulière de 200 m de côté ;
- Deux sous-maillages gigognes intégrés au maillage principal composé de mailles de 25 m de côté. Ces sous-maillages discrétisent finement le système aquifère autour de l'opération géothermique. L'utilisation de ces maillages gigognes permet d'obtenir une très bonne discrétisation spatiale tout en limitant le nombre total de mailles et les durées de calcul

induites. La présente extension du modèle couvre totalement les aires d’influence du nouveau doublet.

La disposition en plan de ces différents maillages est schématisée sur Figure 28.

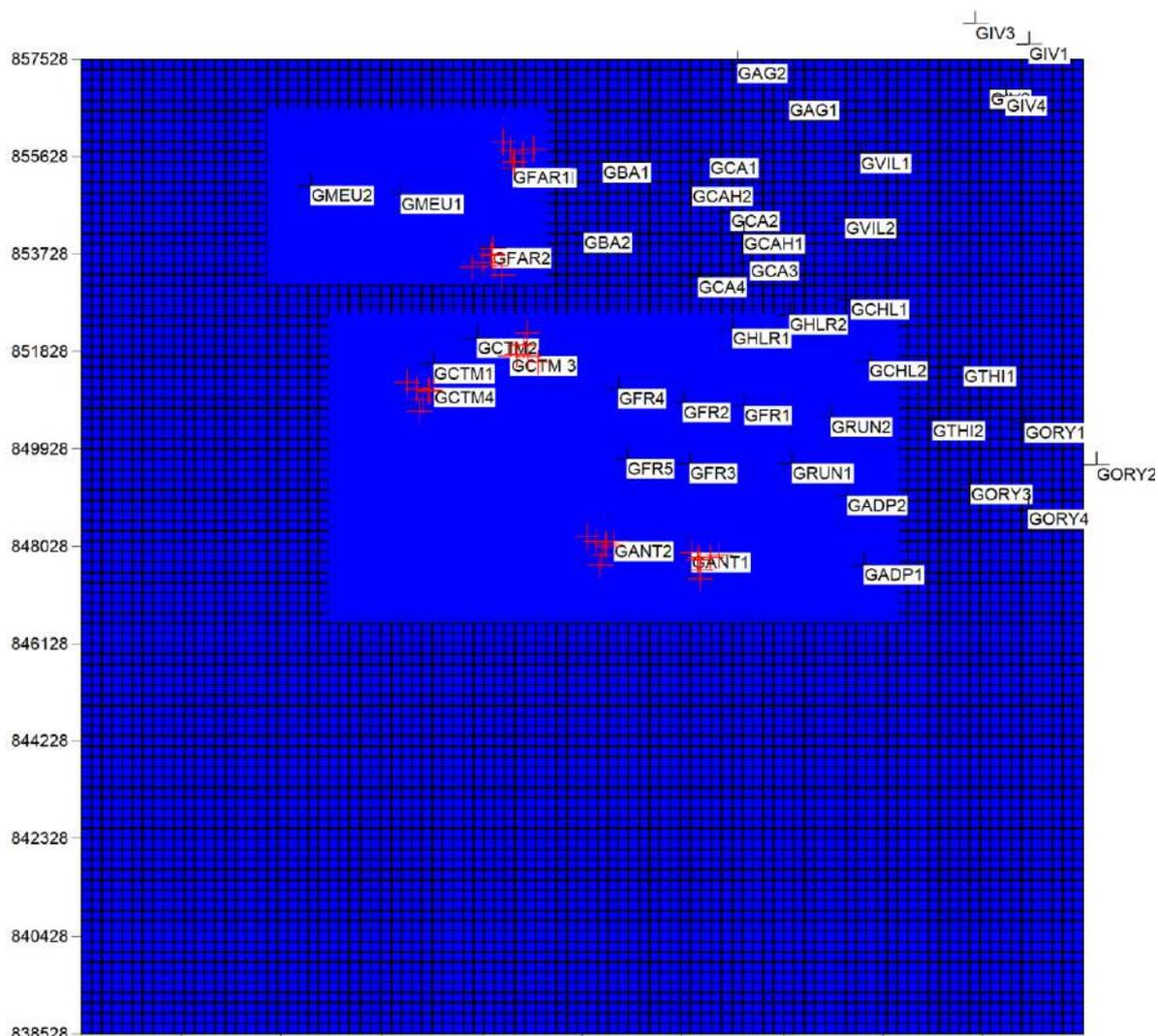


Figure 28 – Maillage du modèle

Le modèle conceptuel a été élaboré à partir des données géologiques, hydrogéologiques issues des rapports des doublets au Dogger présent sur la zone d’étude, sur le rapport du BRGM n°R-59591 (Pratiques de modélisation hydraulique et thermiques pour des exploitations géothermiques au Dogger dans la Région Parisienne), le rapport RP60399-FR (Gestion de ma ressource géothermique du Dogger de la région Île-de-France – Année 2011) présentant les divers résultats des travaux de modélisation du groupement « Géothermie Profonde » (BRGM-Antea-CFG Services et GPC-IP).

La discrétisation verticale retenue est la suivante :

- Modèle comportant 15 couches représentant le réservoir géothermique du Dogger et ses épontes ;
- Le réservoir du Dogger est discrétisé selon un modèle « sandwich » : pour chaque puits, sont extraits de la base de données du Dogger, l'épaisseur productrice totale, somme des niveaux producteurs individualisés par flowmètrie, ainsi que l'épaisseur cumulée des épontes intercalaires. Le modèle se structure selon la séquence suivante : une première couche réservoir d'épaisseur égale à la moitié de l'épaisseur productrice totale, interpolée par krigeage, l'éponte intercalaire unique cumulant les épaisseurs des épontes individuelles (considérée comme quasi-constante dans le secteur d'étude et égale à 25 mètres), enfin une seconde couche réservoir symétrique de la première, le système étant confiné par deux épontes, supérieure (toit) et inférieure (mur).

5.1.5. Conditions hydrauliques initiales

Dans le modèle, la pression de gisement initiale du réservoir correspond à un niveau pseudo-potentiométrique de 140.5 m de colonne d'eau par rapport au niveau de la mer.

5.1.6. Conditions aux limites

5.1.6.1. Conditions aux limites en hydraulique

Les échanges verticaux étant très limités dans le système multicouche du Bassin parisien du fait de l'existence de formations très peu perméables intercalées entre les aquifères, les **limites supérieure et inférieure du modèle** sont déclarées comme **limites à flux nul**.

Les **limites latérales du modèle sont aussi à flux nul**. Cette condition permet de limiter la taille du modèle tout en représentant un scénario pessimiste de l'impact hydraulique et thermique du nouveau doublet sur les opérations environnantes. En effet, cette condition ne permet pas de recharge de l'aquifère aux limites du modèle ce qui amplifie le recyclage thermique et donc les baisses de température simulées aux puits de pompage. Une condition aux limites à potentiel imposé aurait été plus représentatif de la recharge de l'aquifère mais l'accroissement significatif de la taille du modèle dans ce cas n'aurait pas permis de représenter finement les évolutions hydrauliques et thermiques à l'échelle du doublet et des opérations voisines.

5.1.6.2. Conditions aux limites en thermique

Les températures initiales mesurées dans les différents doublets au Dogger ont permis d'élaborer une carte des températures interpolées par la méthode géostatistique du krigeage. Le gradient géothermique est simulé en imposant sur les faces supérieure et inférieure du modèle des températures, cohérentes avec le gradient géothermique de 3,6°C/100 m et avec les températures mesurées dans les forages.

Latéralement, deux cas peuvent se présenter :

- Les limites sont simulées comme étant à **flux thermique nul** (limites adiabatiques) lorsque les limites hydrauliques sont à flux nul ;

- En revanche, lorsque les limites latérales sont à potentiel hydraulique imposé, **le flux entrant par les limites latérales est affecté de la température initiale de la couche.**

5.1.7. Perméabilité à l'eau

La perméabilité à l'eau affectée aux deux couches du réservoir est issue de la Base de Données du Dogger. La transmissivité intrinsèque a été interpolée (krigeage) puis convertie en perméabilité intrinsèque selon le ratio défini plus haut. La perméabilité intrinsèque des autres couches a été fixée à $4,1.10^{-15} \text{ m}^2$.

5.1.8. Paramètres thermiques

Les paramètres thermiques utilisés pour la modélisation du champ de température sont les suivants :

- Conductivité thermique de la matrice minérale : une valeur de $2,5 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, issues de la bibliographie a été attribuée aux épontes et à l'aquifère,
- Dispersivité thermique longitudinale et dispersivité thermique transversale : des valeurs standards de 10 m et 1 m ont été utilisées.
- Chaleur spécifique : des valeurs comprises entre $2,5.10^6$ et $2,1.10^6 \text{ J/m}^3^\circ\text{C}$, issues de la bibliographie ont été respectivement attribuées aux épontes et à l'aquifère.

5.1.9. Synthèse – Schéma conceptuel

La Figure 29 synthétise le schéma conceptuel retenu pour les modélisations hydrogéologiques.

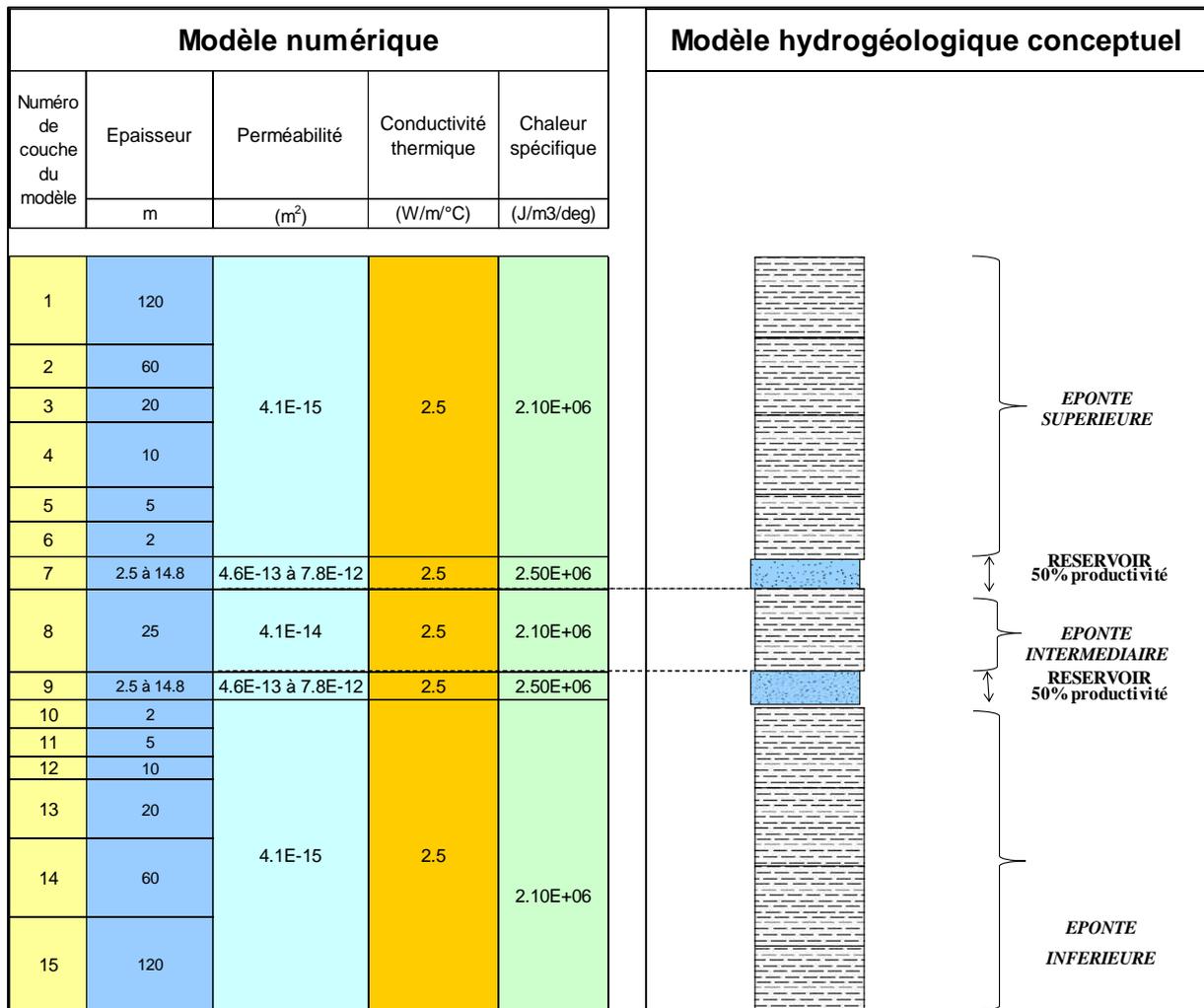


Figure 29 – Modèle conceptuel et discrétisation verticale adoptée pour le modèle numérique

5.2. Simulations des évolutions thermiques et hydrodynamiques du secteur passées et futures

5.2.1. Conditions thermiques initiales

Une première simulation thermique a été réalisée en régime permanent pour déterminer les températures d'équilibre des différentes couches du modèle, celles-ci étant ensuite prises comme conditions initiales aux simulations thermiques transitoires.

La Figure 30 présente le champ de température simulé sur la couche n°8 du réservoir du Dogger.

Le Tableau 4 et la Figure 31 présentent la comparaison entre les températures mesurées et les températures simulées par le modèle. Le modèle restitue de manière fidèle l'ensemble des températures mesurées dans les forages. Les écarts sont inférieurs à $\pm 1^\circ\text{C}$ sur la quasi-totalité des forages. Les écarts les plus importants sont obtenus sur le doublet de Cachan (écart de 1°C). Une très

bonne corrélation est tout de même obtenue entre les valeurs simulées et observées (coefficient de corrélation $R^2 = 0,9977$).

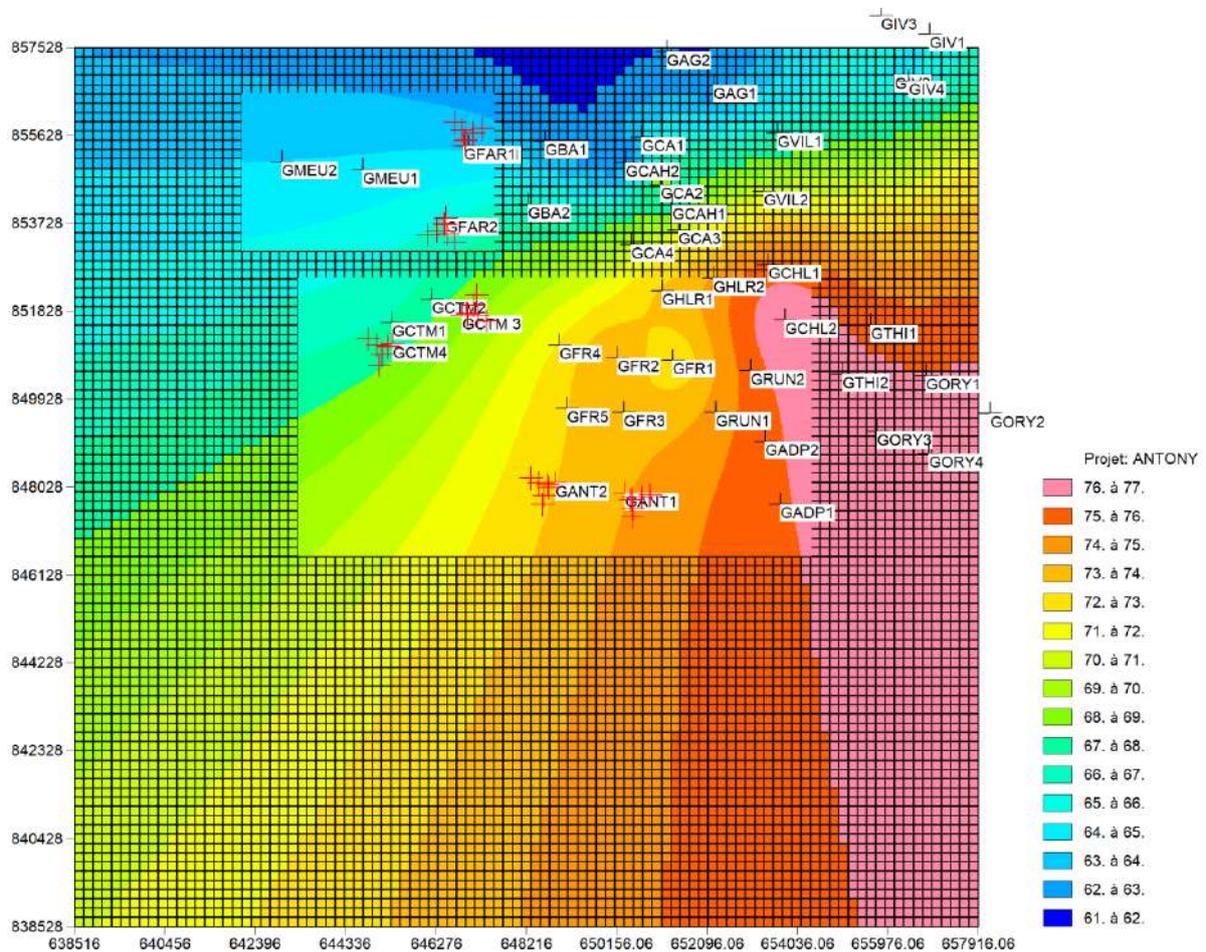


Figure 30 – Champ de température simulé en régime permanent (couche 8 du modèle)

| Nom | Température mesurée (°C) | Température simulée (°C) | Delta température (°C) |
|-------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| GAG1 | 62 | 62.5 | 0.5 |
| GAG2 | 62 | 62 | 0 |
| GBA1 | 62.8 | 62.9 | 0.1 |
| GBA2 | 66.4 | 66.1 | -0.3 |
| GVIL1 | 66.2 | 66.5 | 0.3 |
| GVIL2 | 70.6 | 70.4 | -0.2 |
| GCA1 | 64.5 | 63.9 | -0.6 |
| GCA2 | 69.5 | 69 | -0.5 |
| GCA3 | 71 | 70.4 | -0.6 |
| GCA4 | 70 | 70 | 0 |
| GCAH1 | 65.5 | 66.5 | 1 |
| GCAH2 | 61.2 | 62.2 | 1 |
| GHLR1 | 73.2 | 73.2 | 0 |
| GHLR2 | 74.1 | 74 | -0.1 |
| GCHL1 | 75.4 | 75.2 | -0.2 |
| GCHL2 | 77.2 | 77 | -0.2 |
| GIV2 | 64.8 | 65 | 0.2 |
| GIV4 | 64.6 | 65 | 0.4 |
| GADP1 | 75 | 75.8 | 0.8 |
| GADP2 | 75.1 | 75.7 | 0.6 |
| GORY1 | 76 | 76 | 0 |
| GORY3 | 76.9 | 76.8 | -0.1 |
| GORY4 | 76 | 76.1 | 0.1 |
| GTHI1 | 75.4 | 75.4 | 0 |
| GTHI2 | 76.6 | 76.6 | 0 |
| GFR1 | 71.7 | 72.3 | 0.6 |
| GFR2 | 74.3 | 74 | -0.3 |
| GFR3 | 74.8 | 73.8 | -1 |
| GCTM1 | 67 | 67.1 | 0.1 |
| GCTM2 | 67.6 | 67.9 | 0.3 |

Tableau 4 - Températures simulées au droit des doublets au Dogger considérés dans le modèle

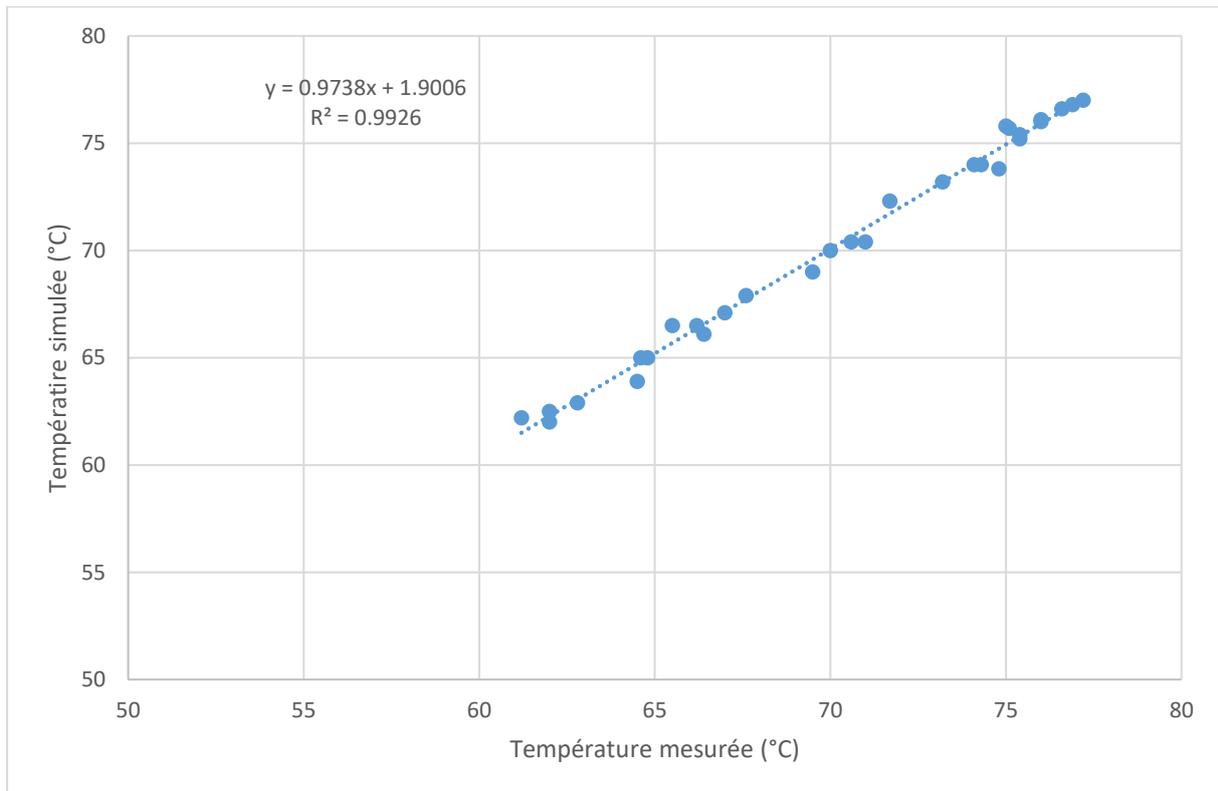


Figure 31 - Comparaison des températures mesurées et des températures simulées

5.2.2. Simulations thermiques

Les simulations en transitoire ont été effectuées au pas de temps annuel sur une période de 74 ans allant de 1984 à 2058.

Cette période débute un an avant la mise en service du doublet de Châtenay-Malabry et s'étend jusqu'à 30 ans après la mise en service du doublet d'Antony (durée du permis d'exploitation qui sera demandé).

Les chroniques de débit et température d'injection simulées pour le doublet d'Antony sont présentées dans le tableau suivant.

| Scenarii | Caractéristiques | Débit moyen (m3/h) | Débit maximal (m3/h) | Température moyenne de réinjection (°C) |
|----------|--|--------------------|----------------------|---|
| A | Architectures classiques | 220 | 350 | 45 |
| A bis | Diamètres conventionnels | 240 | 350 | 40 |
| B | Architectures multidrains | 220 | 350 | 45 |
| B bis | Diamètres conventionnels | 240 | 350 | 40 |
| C | Architectures classiques Surdiamètres | 260 | 450 | 40 |
| D | Architectures multidrains Surdiamètres | | | |
| E | <u>Stockage de chaleur</u> Architectures classiques Diamètres conventionnels | 200 | | 40 en hiver 90 en été |
| F | <u>Inversion producteur/Injecteur</u> Architectures multidrains Surdiamètres | 260 | 450 | 40 |

Tableau 5 - Chroniques de débit pour le futur doublet d'Antony

5.2.3. Principe de la simulation couplée

La simulation réalisée en régime transitoire permet de coupler le calcul hydrodynamique et le calcul thermique. Cette méthode permet de prendre en compte dans les calculs les effets de la température sur la viscosité du fluide géothermal et donc sa vitesse d'écoulement.

Ainsi, une loi de variation exponentielle de la viscosité du fluide en fonction de la température est introduite dans le modèle.

Afin de tenir compte des différences de température aux puits de production et d'injection et au sein du réservoir, les perméabilités des différentes couches intégrées au modèle transitoire sont donc les perméabilités intrinsèques. Le modèle calcule ensuite dans chaque maille pour chaque pas de temps les perméabilités à l'eau à la température de la maille, d'après la relation suivante :

$$K_{\text{à l'eau}} = (K_{\text{intrinsèque}} \cdot \rho \cdot g) / \mu$$

Avec : $K_{\text{à l'eau}}$: perméabilité à l'eau (m/s)

$K_{\text{intrinsèque}}$: perméabilité intrinsèque (m²)

μ : viscosité dynamique du fluide (kg/m.s)

ρ : densité du fluide (kg/m³)

g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s²)

5.3. Scenarii de simulation pour le projet d'Antony

L'intégralité des résultats cartographiques et numériques sont disponibles dans la présentation annexée à ce rapport.

5.4. Conclusion sur la modélisation

Le modèle numérique élaboré à partir du modèle hydrogéologique conceptuel permet de représenter le comportement du futur doublet d'Antony.

Sur ces bases, les simulations thermiques prévisionnelles réalisées sur environ 30 ans montrent que le puits injecteur GANT2 aura un impact thermique acceptable sur le puits producteur GANT1 dans tous les scenarii simulés. En effet, l'efficacité thermique du projet est assurée jusqu'à l'horizon 2057 puisque la température au puits de production ne devrait pas baisser de plus de 1°C à cette échéance.

Par ailleurs, les simulations réalisées sur 30 ans montrent que le nouveau projet aura un impact hydraulique acceptable sur les projets alentours dans le cadre du schéma de stockage de chaleur.

Dans tous les autres cas, l'impact hydraulique est supérieur à 1 bar pour les producteurs des doublets d'ADP et Rungis. Une discussion pourra être engagée avec les deux gestionnaires de ce projet pour tolérer un impact supérieur à un bar sur leur puits producteur.

De plus, l'inversion de l'injecteur et du producteur d'Antony permettrait de s'affranchir des impacts négatifs supérieurs à un bar sur ces deux puits producteurs.

6. Principe du forage pétrolier

La réalisation d'un forage géothermique s'apparente à celle d'un forage pétrolier : les techniques utilisées et les matériels sont similaires.

Le schéma de principe d'un forage pétrolier est rappelé en Figure 32. Des exemples d'ateliers de forages sont présentés en Figure 33.

Un outil de forage « rotary » relié à la surface par un train de tiges métalliques ("garniture de forage") supportées par le mât de forage par l'intermédiaire de l'ensemble treuil-moufle fixe / moufle mobile (fonction levage) est utilisé pour broyer la roche et permettre le forage du puits.

Le forage rotary utilise en général un tricône à dents, ou monobloc dans certaines conditions, animé d'une rotation sur lequel est appliquée une force procurée par le poids des tiges. Le poids sur l'outil est assuré par l'emploi de masses-tiges vissées au-dessus de l'outil et prolongées jusqu'en surface par les tiges de forage, simples tubes vissés entre eux et assurant la transmission du mouvement de rotation et la canalisation du fluide de forage.

La roche broyée est remontée en surface par circulation du fluide ou boue de forage ayant des propriétés de suspension des solides. Ce fluide est injecté depuis la surface dans les tiges de forage et pénètre dans le puits au niveau du fond du forage en cours grâce à des événements ("duses") aménagés sur l'outil de forage. Le fluide remonte ensuite du fond jusqu'en surface par l'espace annulaire entre les tiges de forage et les parois du trou en entraînant avec lui les déblais de roche broyée. En surface, la boue de forage est dirigée vers un circuit de traitement approprié (tamis, centrifugeuse) destiné à la débarrasser des solides indésirables ("cuttings") et à restaurer ses qualités de densité et de viscosité avant sa réinjection dans le puits. Les déblais de forage et les boues usées sont stockés temporairement dans des bacs métalliques de rétention à partir desquels ils peuvent être traités sur place ou transportés directement sur un site de traitement et d'élimination autorisé.

Le traitement des bacs sur site ne concerne que les boues à l'eau et consiste en une décantation des boues et déblais. La partie solide est acheminée vers un centre agréé, les eaux récupérées sont envoyées en station d'épuration.

Pendant l'exécution du forage, des cuvelages en acier sont régulièrement descendus dans le puits à différentes profondeurs et cimentés aux parois du trou (cf. Figure 34) afin d'en stabiliser la paroi, d'isoler les unes des autres les différentes zones poreuses et perméables rencontrées et de rendre possible l'approfondissement du forage dans des conditions satisfaisantes de sécurité.

Un chantier de forage de type pétrolier comprend :

- Un atelier de forage avec son mât de levage et sa plate-forme de travail surélevée,
- Des râteliers (tréteaux souvent dénommés racks) pour stocker les tiges de forage et les tubages avant leur emploi,
- Des moteurs thermiques diesel (échappements des moteurs équipés de silencieux), des groupes électrogènes avec leurs capots de protection,
- Des pompes et un circuit de traitement des boues et de filtration des boues,

- Plusieurs locaux mobiles de chantiers abritant des ateliers de mécanique, les bureaux, les vestiaires, les sanitaires...
- Des bacs à eau, à boue et à fluides de tests (eaux chaudes).

L'éclairage du chantier est assuré par des projecteurs dirigés exclusivement vers les lieux de travail et non vers les lieux environnants.

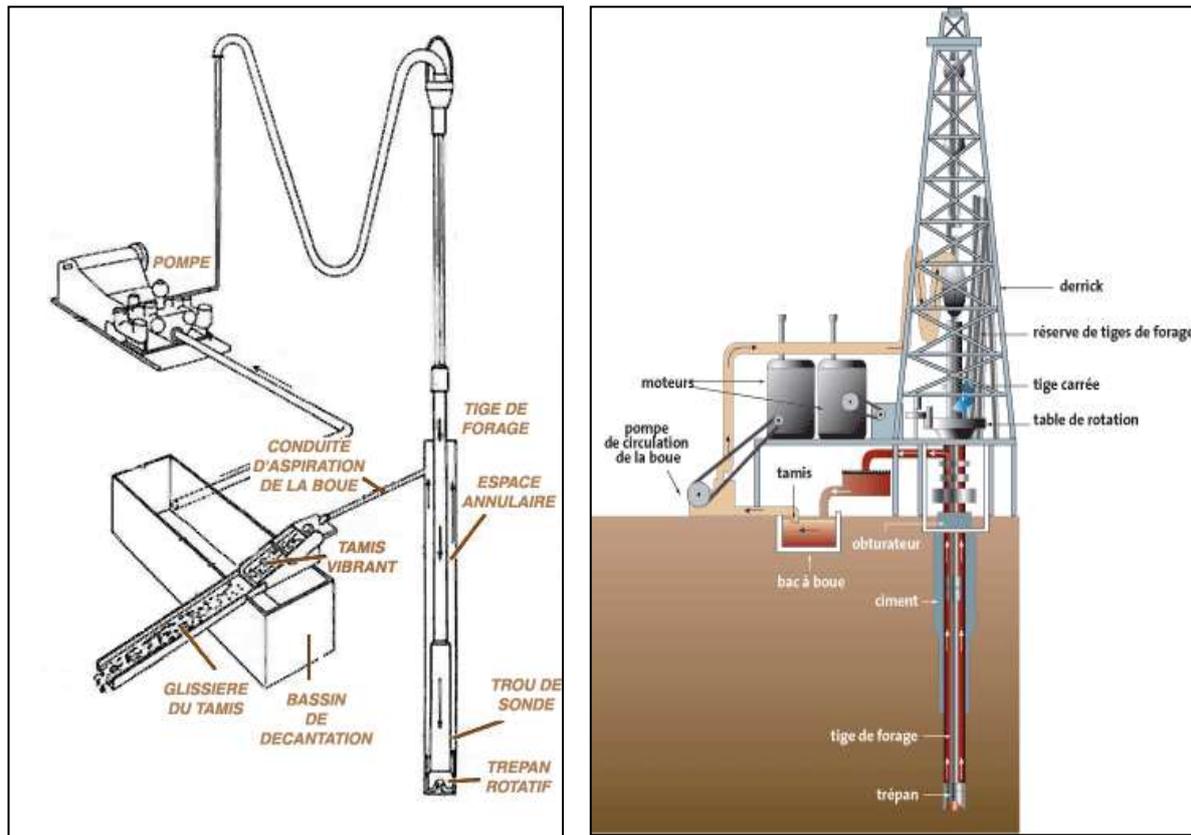
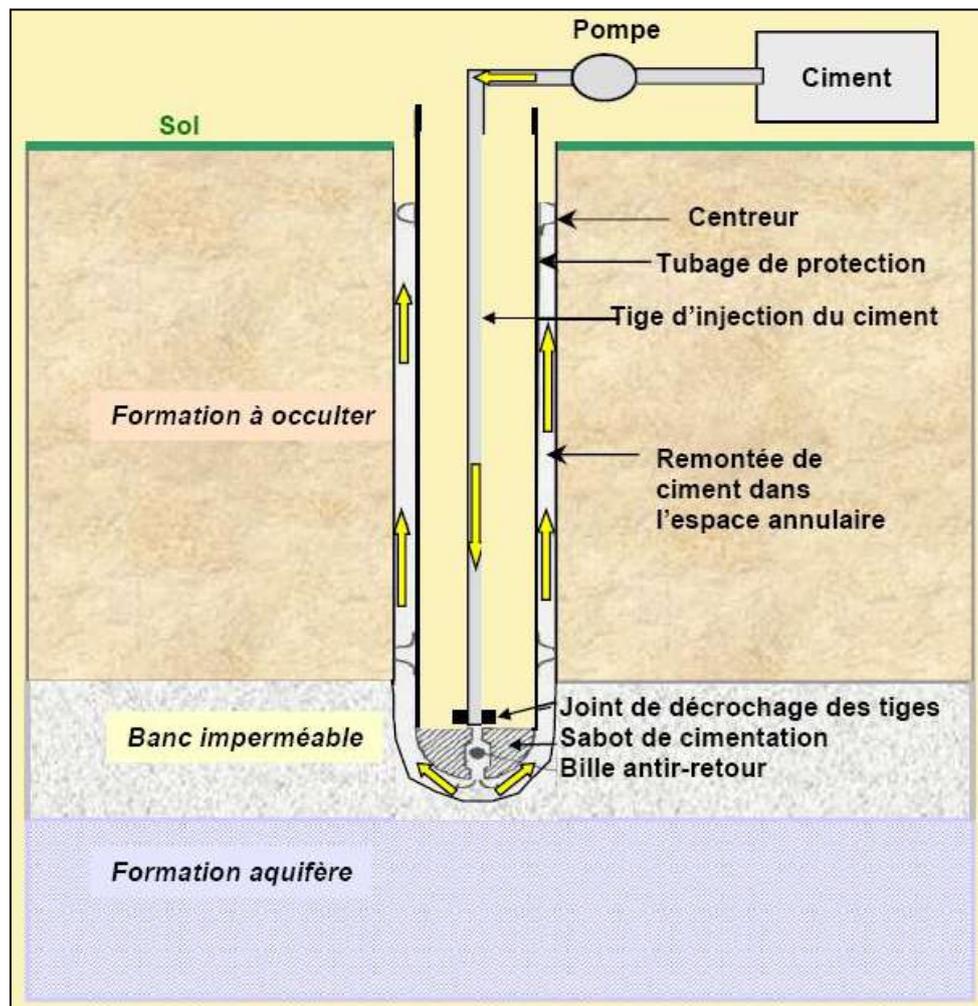


Figure 32 – Schémas de principe d'un forage de type pétrolier (Source : Ademe/BRGM)



Figure 33 – Exemples d’ateliers de forages géothermiques (Source : ADEME/BRGM et Antea Group)



Il s'agit ici d'une cimentation par inner string (tiges de cimentation connectées au sabot pour l'injection du laitier puis déconnectées) ; cette méthode est généralement utilisée pour la pose du premier casing de gros diamètre (18''5/8).

Les cimentations des tubages de diamètre plus faible (13''3/8 et 9''5/8) sont faites par injection du laitier de ciment sous pression directement dans le tubage par l'intermédiaire d'une tête de cimentation ; le laitier est alors poussé par injection de boue de forage.

Figure 34 – Principe de cimentation d'un tubage (Source : BRGM)

7. Architectures de puits

Les objectifs suivis pour la partie tubée sont les suivants :

- Faire en sorte que les producteurs soient orientés dans la zone avec a priori une meilleure transmissivité et une meilleure température ;
- Maximiser l'espacement entre les impacts production/injection au réservoir ;
- Positionner les impacts au toit du réservoir afin d'éviter toutes interférences thermiques et hydrauliques entre les puits ;
- Proposer des architectures de puits réversibles pour permettre le déploiement du stockage de chaleur.

Des trajectoires nominales sont disponibles dans les figures qui suivent.

Les phases d'ingénierie de forage futures pourront amener à modifier l'architecture des puits. Le forage du réservoir pourrait être optimisé en utilisant des outils capables de monter rapidement en inclinaison et ainsi déporter le barycentre des niveaux producteurs. Cette ingénierie engendrerait un surcôt supplémentaire.

Le principe d'une architecture multi-drains, envisagée à cause de la faible transmissivité du secteur, est présentée ci-dessous.

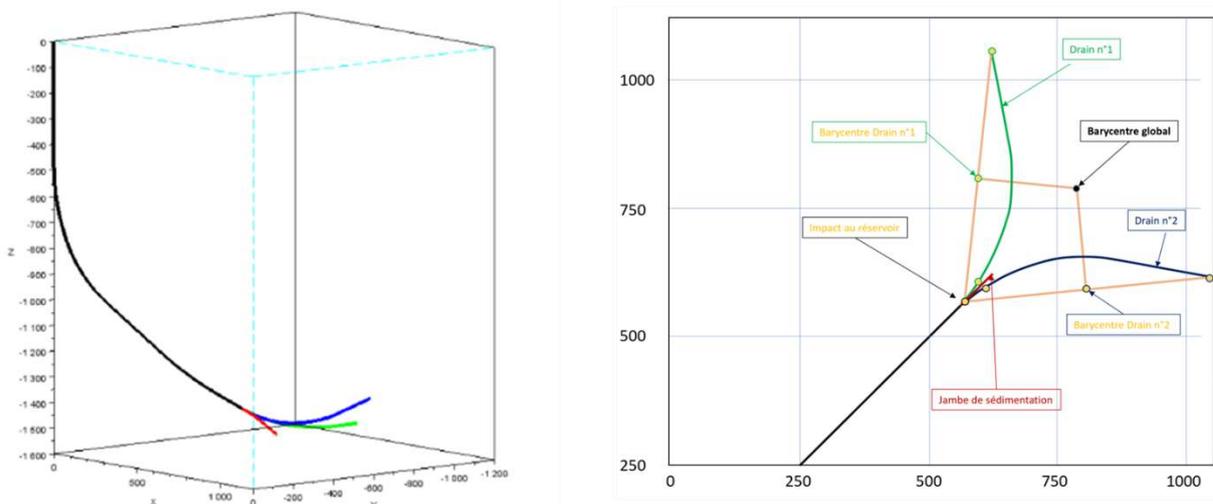


Figure 35 -Schéma explicatif d'une architecture multi-drains

Une architecture multi-drains entrainerait un léger décalage vers le sud de la surface du permis d'exploitation du projet d'Antony, représentée cartographiquement par une gélule.

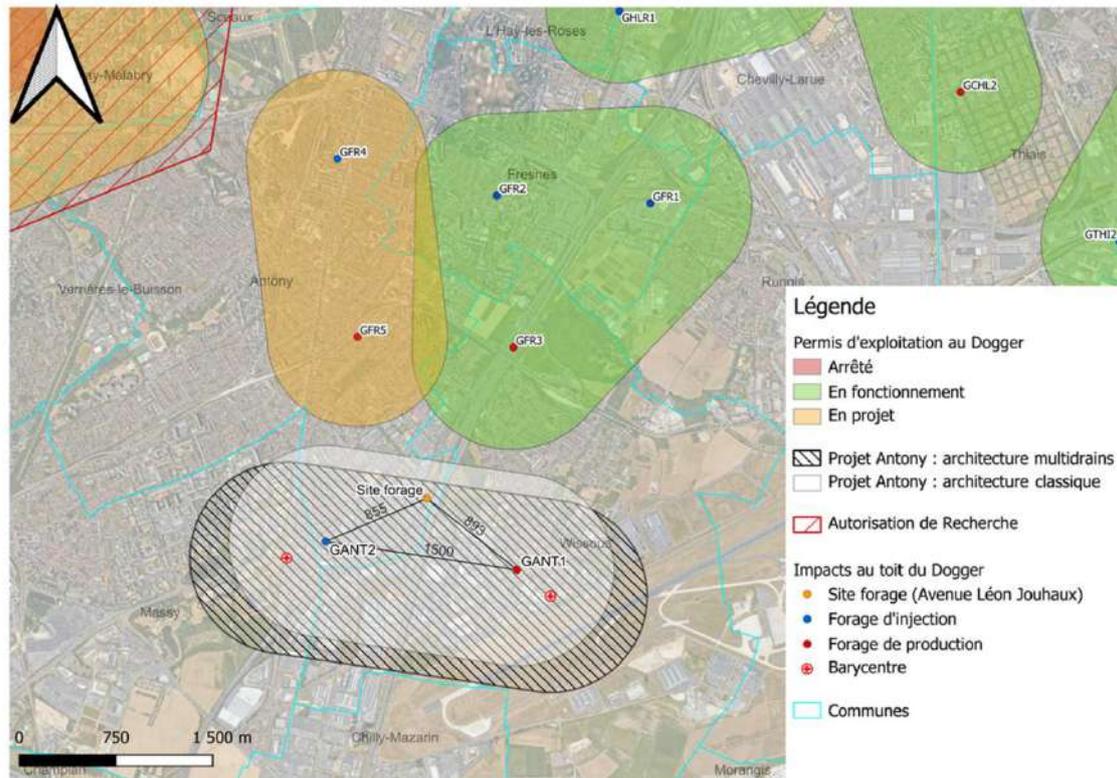


Figure 36 – Proposition de permis d'exploitation au Dogger pour le projet d'Antony, selon des architectures classiques et multi-drains

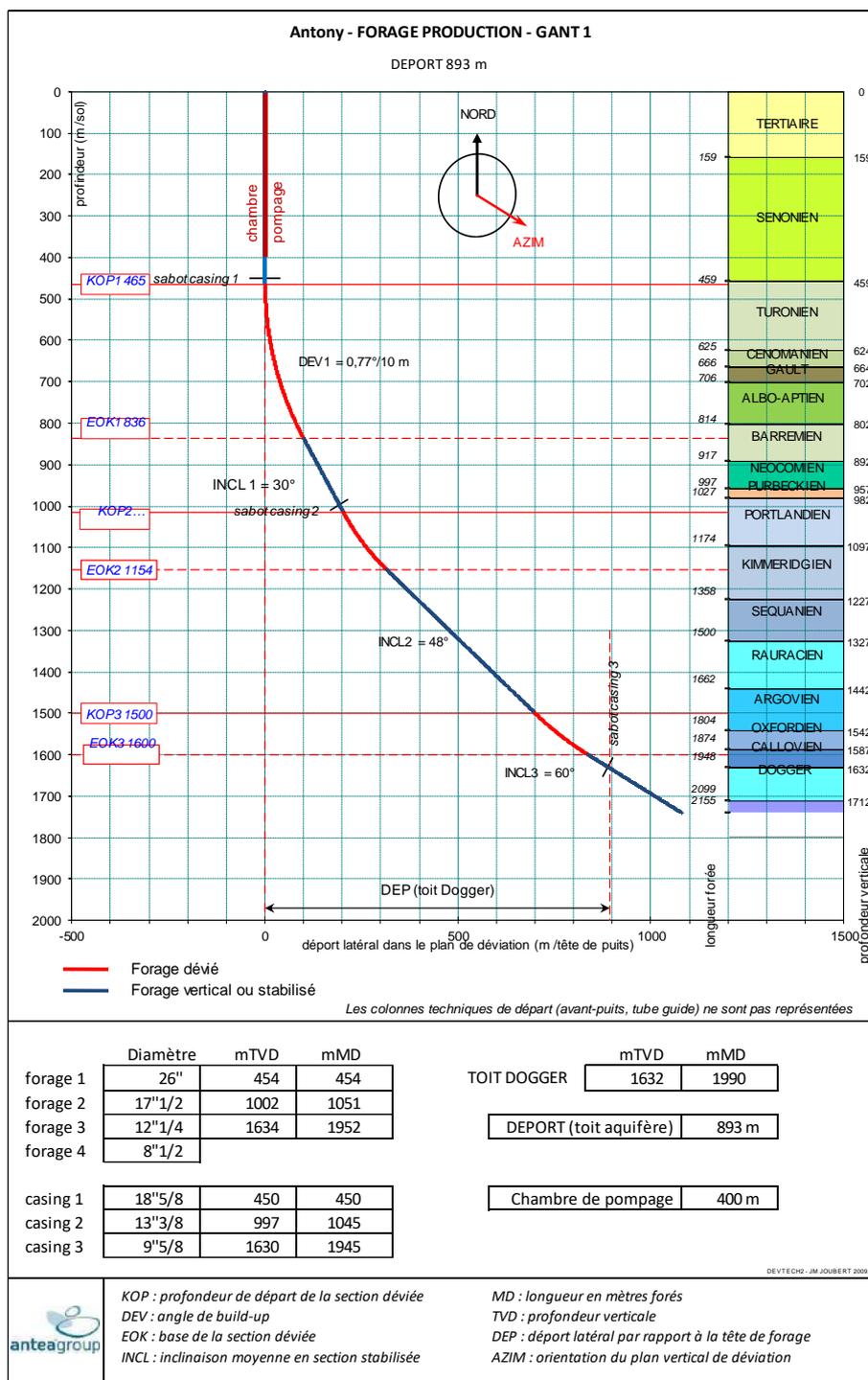


Figure 37 – Trajectoire de forage prévisionnelle du puits de production GANT1

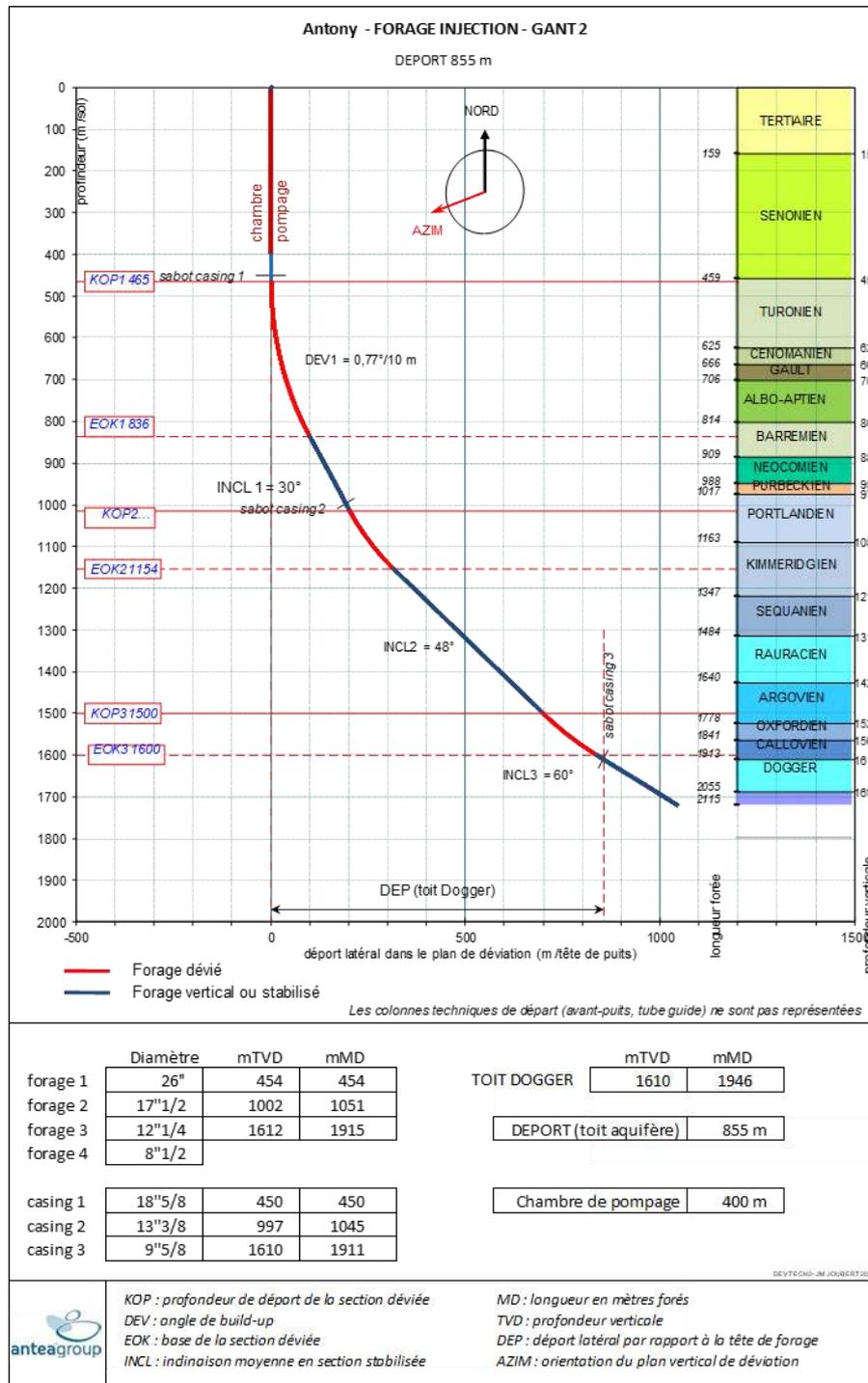


Figure 38 – Trajectoire de forage prévisionnelle du puits d'injection GANT2

Les architectures proposées sont compatibles avec un potentiel schéma réversible (si cette possibilité ne devait pas être conservée, le casing 18 5/8" de l'injecteur pourrait être plus court, et la déviation démarrée plus haut de manière à limiter l'inclinaison finale, tout en maintenant le même point d'impact au réservoir).

Dans le schéma réversible, chaque forage est équipé d'une pompe immergée et de la colonne d'exhaure associée. La réinjection se fait alors dans l'espace annulaire entre la pompe et le tubage de la chambre de pompage.

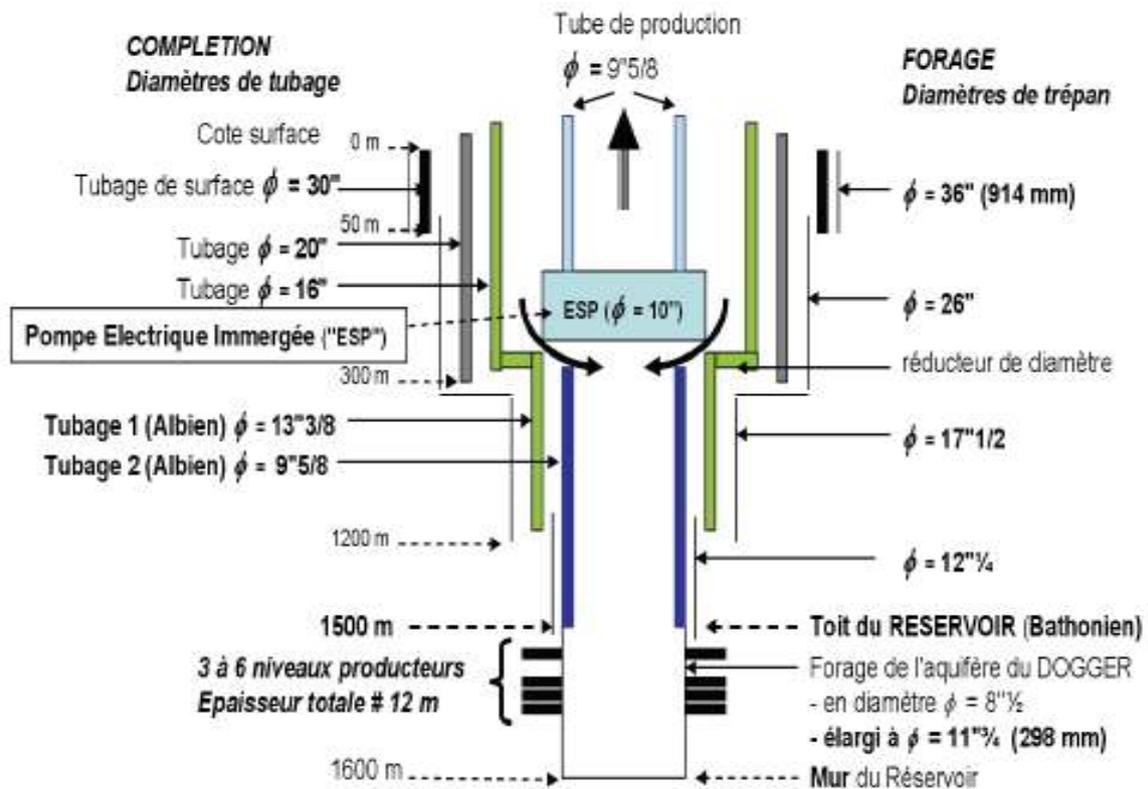


Figure 39 – Equipement des forages dans un schéma réversible (source : projet Geostocal)

8. Estimation des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation du projet

8.1. Les investissements

Les coûts d'investissement ont été estimés pour les postes suivants : le génie civil (plateforme de forage avec les surcoûts associés, avant-trous), les travaux de forage et les équipements des puits pour un schéma classique (diamètre et architecture conventionnels) (Tableau 6).

| item | Phases | prix (eur) HT |
|----------------------|--|-------------------|
| Génie civil | | |
| 1 | Génie civil plateforme, remise en état site | 1 200 000 |
| 2 | Avant trou | 220 000 |
| 3 | Aménage/montage/démontage/réglage appareil | 900 000 |
| | Sous-total Génie Civil | 2 320 000 |
| Forage | | |
| 4 | Tubages | 1 210 000 |
| 5 | Fonctionnement appareil (foul et gardiennage) + logistique | 2 620 000 |
| 6 | Outils de forage et forage dirigé | 800 000 |
| 7 | Fluides de forage | 800 000 |
| 8 | Évacuation/traitement déblais et effluents | 900 000 |
| 9 | vissage accessoire et outils spéciaux | 350 000 |
| 10 | Cimentations | 720 000 |
| 11 | géologie de sonde | 420 000 |
| 12 | Diagraphies électriques | 550 000 |
| 13 | Stimulations + airlift + refroidissement | 250 000 |
| 14 | têtes de puits | 100 000 |
| 15 | Ingénierie/Rapports/Gestion | 450 000 |
| 16 | Assurances (TRC et LIM) | 1 200 000 |
| 17 | SAF Court terme (3,5%) | 450 000 |
| | Sous-total Forage | 10 820 000 |
| Equipement des puits | | |
| 18 | Pompe immergée, colonne d'exhaure, station de traitement | 580 000 |
| GNR | | |
| 19 | GNR forage | 600 000 |
| | Total Sous-Sol Hors Option | 14 320 000 |

Tableau 6 - Investissements nécessaires au projet de géothermie d'Antony

Les prix mentionnés dans le tableau sont indicatifs, ils ne prennent en compte d'aléas et de surcoûts liés aux fluctuations du marché. Le chiffrage n'intègre pas les coûts de surface liés à la construction de la centrale, des sous-stations et du réseau de chaleur. Le prix de la construction de la plateforme a été

estimé en tenant compte des coûts de terrassement importants. Il est rappelé que le prix de l'assurance est susceptible de subir des variations importantes.

L'estimation des surcoûts de forage pour une architecture en sur-diamètre est présentée dans le tableau ci-après. Ce passage en **sur-diamètre entraînerait un surcoût total de 1 300 000 € HT** et allongerait les opérations de forage d'environ 8 jours.

| | Surcoût sur-diamètre |
|-----------------|----------------------|
| Casing | 250 000 € |
| Déviation | 300 000 € |
| Déblais/boue | 400 000 € |
| SAF | 50 000 € |
| Durée de forage | 200 000 € |
| Outils | 100 000 € |
| total | 1 300 000 € |

Tableau 7 – Estimation des surcoûts dans le cas d'un passage de forage en sur-diamètre (6 postes affectés)

La comparaison des coûts des fournitures et des travaux entre les schémas considérés de forage drain standard et forage multidrains est présentée dans le tableau ci-dessous.

Le surcoût pour le multidrains est ainsi de l'ordre de 1 600 000 € HT.

Le surcoût pour le schéma réversible est de l'ordre de 700 000 € HT, pour le groupe immergé dans le forage d'injection, et l'adaptation des têtes de puits.

En prenant en compte toutes les options, le coût total serait de 17 920 000 € HT.

| forage drain standard | | | | | |
|--|--|------------|-------|---------------|----------------|
| N° prix | Désignation des fournitures et des travaux | nombre | unité | prix unitaire | Total (€ HT) |
| prix du rig pendant cimentation , m/u BHA, RIH & circulation | | | | | 245 000,00 € |
| 1 | prix du rig tarif journalier | 10 | jour | 24 500 | 245 000 |
| boue salée | | | | | 125 000,00 € |
| 2,1 | Produits boue phase 8"1/2 | m3 | 300 | 350 | 105 000 |
| 2,2 | Location de la cabine | jour | 10 | 100 | 1 000 |
| 2,3 | Personnel | jour.homme | 20 | 950 | 19 000 |
| forage du drain forfait company de service (déviation + outil) | | | | | 140 000 |
| 3,1 | forfait drain | unit | 2 | 70 000 | 140 000 |
| traitement des déblais | | | | | 83 000,00 € |
| 4,1 | personne | jour | 20 | 1 650 | 33 000 |
| 4,2 | évacuation/ traitement équipement | fft | 2 | 25 000 | 50 000 |
| mudlogging | | | | | 33 000,00 € |
| 5.1 | personnel | jour | 10 | 2 500 | 25 000 |
| 5.2 | géologue | jour | 5 | 1 000 | 5 000 |
| 5.3 | cabine | jour | 5 | 600 | 3 000 |
| total | | | | | 626 000,00 € |
| forage multidrain | | | | | |
| N° prix | Désignation des fournitures et des travaux | nombre | unité | prix unitaire | Total (€ HT) |
| prix du rig pendant cimentation , m/u BHA, RIH & circulation | | | | | 686 000,00 € |
| 1 | prix du rig tarif journalier | 28 | jour | 24 500 | 686 000 |
| boue salée xanthane + lubrifiant | | | | | 506 000,00 € |
| 2,1 | Produits boue phase 8"1/2 | m3 | 750 | 600 | 450 000 |
| 2,2 | Location de la cabine | jour | 28 | 100 | 2 800 |
| 2,3 | Personnel | jour.homme | 56 | 950 | 53 200 |
| forage du drain forfait company de service (déviation + outil) | | | | | 680 000 |
| 3,1 | forfait drain | unit | 2 | 340 000 | 680 000 |
| traitement des déblais | | | | | 252 400,00 € |
| 4,1 | personne | jour | 56 | 1 650 | 92 400 |
| 4,2 | évacuation/ traitement équipement | fft | 2 | 80 000 | 160 000 |
| mudlogging | | | | | 101 000,00 € |
| 5.1 | personnel | jour | 28 | 2 500 | 70 000 |
| 5.2 | géologue | jour | 28 | 1 000 | 28 000 |
| 5.3 | cabine | jour | 5 | 600 | 3 000 |
| total | | | | | 2 225 400,00 € |

Tableau 8 – Coûts des fournitures et travaux de forage pour les schémas de forage drain standard et multidrains

8.2. Les coûts d'exploitation

Les coûts annuels, hors frais financiers, liés à l'exploitation du doublet géothermique est estimé à partir des trois postes suivants :

- Achat de combustible et d'énergie (charge P1) ;
- Entretien, maintenance courante et autres frais d'exploitation (charge P2) ;
- Gros entretien et renouvellement (charge P3).

8.2.1. Charges P1 – Achat de combustibles et d'énergie

Les charges P1 sont résumées dans le Tableau 9. Le prix de l'électricité est basé sur les prix de 2024 soit 150 €/MWh au prix de contractualisation direct entre la maîtrise d'ouvrage avec un intervenant (sans tiers). La consommation électrique du pompage a été estimée pour un débit maximal de 350 m³/h et une transmissivité de 10 D.m.

| Consommation | Schéma classique Total (€ HT) | Schéma stockage Total (€ HT) |
|---|----------------------------------|---------------------------------|
| Consommation électrique du pompage | 473 555 € | 456 156 € |
| Inhibiteur de corrosion (concentration 5 g/m ³) | 45 750 € | 45 750 € |
| Total | 519 305 € | 501 906 € |

Tableau 9 - Coût d'exploitation annuels des charges P1 (sur une période de 30 ans)

8.2.2. Charges P2 – Entretien, maintenance et autres frais d'exploitation

Les charges P2 sont résumées dans le Tableau 10.

| Conduite – Suivi – Petit entretien | Schéma classique Total (€ HT) | Schéma stockage Total (€ HT) |
|---|----------------------------------|---------------------------------|
| Suivi règlementaire de la boucle | 35 000 € | 35 000 € |
| Diagraphies des puits (tous les 5 ans pour le producteur, 3 ans pour l'injecteur) | 13 500 € | 18 000 € |
| Entretien et maintenance | 51 500 € | 51 500 € |
| Contrat anti-éruption | 8 000 € | 8 000 € |
| SAF | 15 000 € | 15 000 € |
| Total | 123 000 € | 127 500 € |

Tableau 10 - Coûts d'exploitation annuels des charges P2 (sur une période de 30 ans)

8.2.3. Charges P3 – Gros entretien et renouvellement (GER)

Les charges P3 sont résumées dans le tableau suivant

| Gros entretien et renouvellement | Schéma classique Total (€ HT) | Schéma stockage Total (€ HT) |
|---|-------------------------------|------------------------------|
| Renouvellement pompe et colonne d'exhaure | 61 500 € | 123 000 € |
| Renouvellement des têtes de puits | 7 500 € | 7 500 € |
| Renouvellement pompe et ligne injection inhibiteur | 9 500 € | 19 000 € |
| Maintenance échangeurs et filtres | 22 500 € | 22 500 € |
| Renouvellement variateurs et transformateur élévateur | 16 000 € | 16 000 € |
| Renouvellement station de traitement | 3 500 € | 7 000 € |
| Renouvellement robinetterie (hors têtes de puits), capteurs | 3 500 € | 3 500 € |
| Acidification douce des tubages sur les deux puits | 6 500 € | 6 500 € |
| Total | 130 500 € | 205 000 € |

Tableau 11 - Coûts d'exploitation des charges annuelles P3 (sur une période de 30 ans)

9. Planning et cadre réglementaire

Les différentes étapes d'un projet de géothermie profonde sont présentées dans le Tableau 12. Les durées correspondent à des estimations par rapport à un projet classique de géothermie au Dogger. En fonction des contraintes, certaines durées peuvent être légèrement adaptées mais la durée des travaux peut être considérée comme incompressible. L'obtention de l'Arrêté Préfectoral d'autorisation prend généralement 1 an.

| Etapes de réalisation d'un doublet au Dogger | Durée |
|---|--------------|
| Etude de faisabilité complète (sous-sol/surface) qui comprend : <ul style="list-style-type: none"> • Le choix du site de forage • L'aménagement autour des têtes de puits • L'évaluation de la ressource • Les architectures de forage • La couverture des besoins | 2 à 3 mois |
| Etude au cas par cas | 1 à 2 mois |
| Rédaction de l'AR-DAEnv (Autorisation de Recherche et Demande d'Autorisation Environnementale) → nouvelle réglementation | 4 à 5 mois |
| Réunion de préparation, reprises et validation | |
| Dépôt AR-DAEnv en préfecture en main propre et dépôt en ligne → nouvelle procédure | 1 an |
| Demande de saisie préfecture – Rapport de recevabilité DRIEAT | |
| Consultation des services de la MRAe – Avis de la MRAe | |
| Compléments de réponses à apporter à la DRIEAT et à la MRAe | |
| Désignation du commissaire enquêteur et enquête publique jusqu'à émission de l'arrêté préfectoral | |
| Obtention de l'arrêté préfectoral | |
| Réalisation des avant-trous et de la plateforme de forage <i>(Possibilité d'anticiper le forage des avant-trous avant les travaux de plateforme)</i> | 3 à 4 mois |
| Réalisation des travaux de forage du doublet | 8 mois |
| Construction de la centrale géothermique et équipements des puits <i>(Peuvent être réalisés en parallèle des travaux en fonction des risques et de la place disponible)</i> | Environ 1 an |
| Mise en service du doublet | - |

Tableau 12 - Procédure réglementaire et planning prévisionnel généralement associée à la réalisation d'un doublet au Dogger

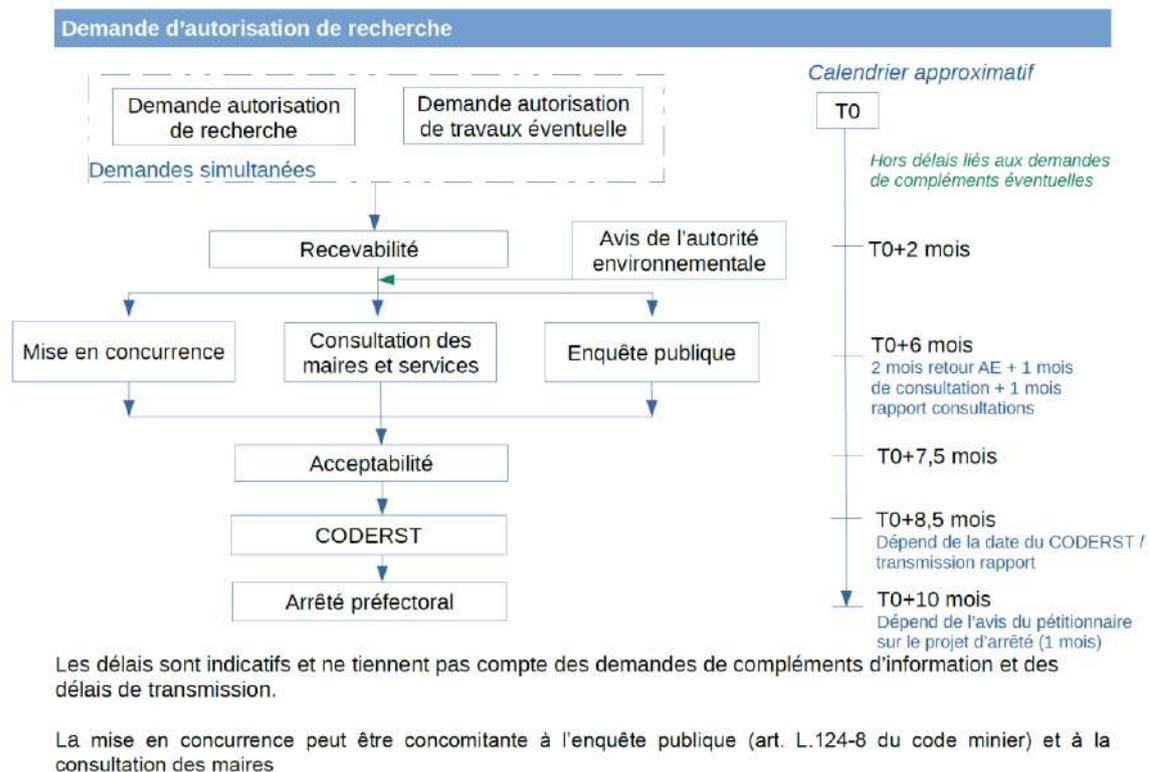


Figure 40 - Calendrier prévisionnel d'instruction d'une demande conjointe d'AR-DAENV (Source : Préfecture d'Ile-de-France)

Un gîte géothermique est considéré comme une mine et est régi par le Code Minier.

Le décret qui précise les conditions administratives d'obtention des titres de recherche et d'exploitation est le décret n°78-498 du 28 mars 1978, relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie modifié par le décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015.

Il est complété par :

- Le décret n°2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrage ou d'aménagement ;
- Le décret n°2011-2018 du 29 décembre 2011 portant réforme de l'enquête publique relative aux opérations susceptibles d'affecter l'environnement ;
- Le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 relatif à l'ouverture des travaux miniers et à la police des mines modifié par le décret n°2016-1304 du 4 octobre 2016 ;
- Le décret n° 2016-1303 du 4 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières ;
- L'arrêté du 14 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substance minière, fixant les conditions et les modalités d'applications des dispositions du décret n°2006-649 du 2 juin 2016 et du décret n°2016-1303 du 4 octobre 2016 ;
- Le décret n° 2019-1518 du 30 décembre 2019 relatif aux titres d'exploration et d'exploitation des gîtes géothermiques.

- La loi n°2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, loi « Climat et résilience »
- Le décret n°2022-1485 du 28 novembre 2022 relatif à la prévention des risques miniers [...] ainsi qu'aux garanties financières propres à ces activités.

Il est à noter que ce dispositif est désormais complété par le décret 2023-13 du 11 janvier 2023 relatif à l'autorisation environnementale des travaux miniers, qui est entré en vigueur le 1er juillet 2023. **Les demandes d'autorisation d'ouverture de travaux miniers relèvent désormais de l'autorisation environnementale (AEnv).** La constitution du dossier reste sensiblement la même, seul la procédure de dépôt et le nombre de documents et cerfas à compléter change.

La procédure comprend :

- Le dépôt du CERFA n°14734 – *Demande d'examen au cas par cas préalable à la réalisation éventuelle d'une évaluation environnementale* - en amont de l'AR-DAEnv auprès de l'Autorité environnementale (dépôt facultatif : un échange pourra être organisé avec les services concernés pour statuer si son dépôt est nécessaire ou non).
- Le dépôt le dossier d'AR-DAEnv qui comprend :
 - Le CERFA n°15964-03 – *Demande d'autorisation environnementale*
 - Le dépôt en préfecture pour la demande d'autorisation de recherche et la demande d'autorisation environnementale.

Conformément à la réglementation en vigueur, il est possible d'établir un dossier conjoint de demande d'Autorisation de Recherches et de demande d'Autorisation Environnementale dont le contenu sera le suivant :

1. L'identité du demandeur ;
2. La justification des capacités techniques et financières du demandeur ;
3. La durée du titre sollicité ;
4. Le programme des travaux et des perspectives d'utilisation de l'énergie extraite sous forme thermique et son résumé non technique ;
5. S'il est demandé un périmètre de protection, ses limites avec les justifications de ce périmètre ;
6. Tous renseignements utiles sur les dispositions prévues pour l'exécution, l'entretien et le contrôle des ouvrages, notamment en vue de la conservation et de la protection des eaux souterraines, les conditions d'abandon des travaux d'exploitation ;
7. L'importance, la nature et les caractéristiques des éventuels déversements et écoulements susceptibles de compromettre la qualité des eaux et les dispositions prévues pour éviter une altération de cette qualité ;
8. Les volumes d'exploitation et éventuellement les périmètres de protection que le pétitionnaire envisage de solliciter dans une demande ultérieure de permis d'exploitation ;
9. Une carte à une échelle qui ne peut être inférieure au 1/50 000 ;
10. Les coordonnées du périmètre de la demande dont les sommets sont définis par le système national de référence de coordonnées fixé par arrêté du ministre chargé des mines.
11. Il est en outre annexé à la demande un mémoire justifiant les limites de ce périmètre compte tenu notamment de la constitution géologique de la région et fournissant, le cas échéant, des renseignements sur les travaux déjà effectués et sur leurs résultats.

La demande d'autorisation de recherches précisera en outre :

12. L'emplacement, l'utilisation, la profondeur et les autres caractéristiques de chacun des forages ;
13. L'horizon géologique dans lequel doivent s'effectuer les captages et, le cas échéant, les réinjections ;
14. La puissance thermique primaire dont l'extraction est envisagée et, le cas échéant, les débits instantanés maximaux et les volumes journaliers maximaux d'eau qui doivent circuler dans les forages.

La procédure pour l'étude d'impact est détaillée dans le décret n°2019-190 du 14 mars 2019. Le contenu de l'étude d'impact sera le suivant :

15. Un résumé non technique des informations prévues ci-dessous ;
16. Une description du projet ;
17. Une description des aspects pertinents de l'état actuel de l'environnement, dénommée « scénario de référence » ou « état initial », et de leur évolution en cas de mise en œuvre du projet ainsi qu'un aperçu de l'évolution probable de l'environnement en l'absence de mise en œuvre du projet, dans la mesure où les changements naturels par rapport au scénario de référence peuvent être évalués moyennant un effort raisonnable sur la base des informations environnementales et des connaissances scientifiques disponibles ;
18. Une description des facteurs mentionnés au III de l'article L. 122-1 susceptibles d'être affectés de manière notable par le projet : la population, la santé humaine, la biodiversité, les terres, le sol, l'eau, l'air, le climat, les biens matériels, le patrimoine culturel, y compris les aspects architecturaux et archéologiques, et le paysage ;
19. Une description des incidences notables que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement résultant ;
20. Une description des incidences négatives notables attendues du projet sur l'environnement qui résultent de la vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs en rapport avec le projet concerné. Cette description comprend le cas échéant les mesures envisagées pour éviter ou réduire les incidences négatives notables de ces événements sur l'environnement et le détail de la préparation et de la réponse envisagée à ces situations d'urgence ;
21. Une description des solutions de substitution raisonnables qui ont été examinées par le maître d'ouvrage, en fonction du projet proposé et de ses caractéristiques spécifiques, et une indication des principales raisons du choix effectué, notamment une comparaison des incidences sur l'environnement et la santé humaine ;
22. Les mesures prévues par le maître de l'ouvrage ;
23. Le cas échéant, les modalités de suivi des mesures d'évitement, de réduction et de compensation proposées ;
24. Une description des méthodes de prévision ou des éléments probants utilisés pour identifier et évaluer les incidences notables sur l'environnement ;
25. Les noms, qualités et qualifications du ou des experts qui ont préparé l'étude d'impact et les études ayant contribué à sa réalisation ;
26. Lorsque certains des éléments requis ci-dessus figurent dans l'étude de maîtrise des risques pour les installations nucléaires de base ou dans l'étude des dangers pour les installations classées pour la protection de l'environnement, il en est fait état dans l'étude d'impact.

Les éléments doivent également être ajoutés au dossier :

- Les courrier de mise à disposition des terrains pour la réalisation des forages, leur exploitation et leur maintenance ;
- Les courrier d’engagement de la Maîtrise d’ouvrage à fournir les garanties financières conformément au décret n°2022-1485 du 28 novembre 2022.
- Les éléments concernant la centrale, les potentiels réseaux de distribution, le scénario d’exploitation envisagé (bilan production, courbe monotone, couverture ENR visée, énergie soutirée au sous-sol), les études complémentaires (acoustiques, faune/flore, géotechniques, pollution du sol, éventuels dossiers d’enregistrement ICPE).

A l’issue des travaux de forage, il sera possible de déposer :

- Deux demandes de permis d’exploitation.
- Une demande de concession dans le cas d’un seul site pour les deux doublets.

10. Conclusions

Le site ciblé est en mesure d'accueillir le doublet géothermique moyennant une gestion du dénivelé du site, et la gestion des habitations provisoires présentes sur place, ainsi que le dépôt d'ordures.

L'aménagement de la plateforme qui accueillera les ouvrages représente cependant un enjeu important étant donné le dénivelé du terrain (il faudrait considérer des travaux d'aplanissement ou une implantation de forage sur deux niveaux pour s'affranchir du dénivelé).

La ressource géothermale permet d'envisager des débits compatibles avec les valeurs conventionnelles du Dogger. Les caractéristiques de la ressource sont rappelées ci-dessous.

| Caractéristiques du Dogger | Qualité de la ressource |
|----------------------------|-------------------------|
| Altitude du toit | -1530 ± 20 m |
| Température | 74 ± 2°C |
| Transmissivité | 10 à 15 D.m |

Compte-tenu des incertitudes sur les propriétés du réservoir, il est recommandé d'envisager dès l'origine une architecture avancée dans le réservoir.

L'insertion du futur doublet au sein des installations existantes ou programmées revêt un enjeu important qui pourrait requérir une inversion des rôles des forages (producteur / injecteur) par rapport à ce qui aurait été proposé sans la contrainte des voisins (ce qui entraîne une légère perte en matière de température de production).

Un schéma réversible, avec injection l'été du surplus de chaleur de l'incinération pourrait venir bonifier l'opération. Ce principe novateur en France devra passer plusieurs étapes de validation économique, technique et réglementaire.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Sauf avis contraire de votre part, la présente prestation sera intégrée dans la liste des références d'Antea Group. Les noms de nos clients, les titres des prestations ainsi que leurs montants sont ainsi susceptibles d'être communiqués à des tiers.

Ce rapport devient la propriété du client après paiement intégral du coût de la mission ; son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <http://www.annexes.anteagroup.org>.



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

Mesure

Air ambiant
Air intérieur
Exposition professionnelle
Eau
Pollution atmosphérique

Environnement

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

Eau

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



Data

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

Infrastructure

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

Aménagement du territoire

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

Antea Group est certifié :



www.lne.fr



Création d'un RCU géothermique à Antony : Échange sur la cession du terrain « Jouhaux » de la DIRIF

4 septembre 2025

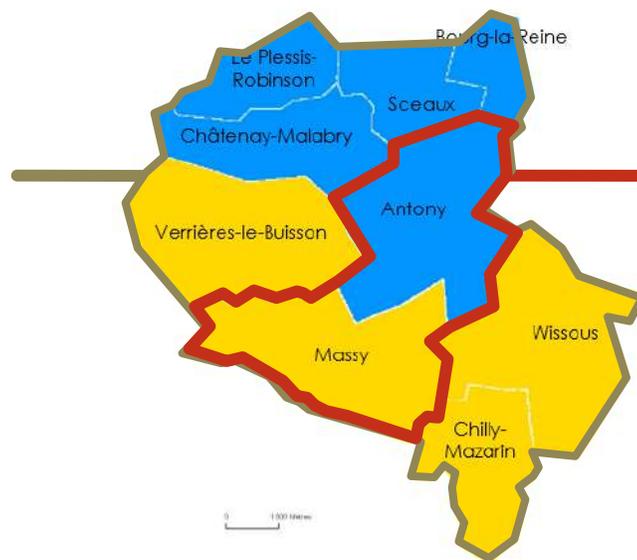
Un projet du SIMACUR avec le soutien financier de :



Le SIMACUR : un syndicat intercommunal regroupant 4 adhérents pour 2 compétences

Valorisation des déchets ménagers

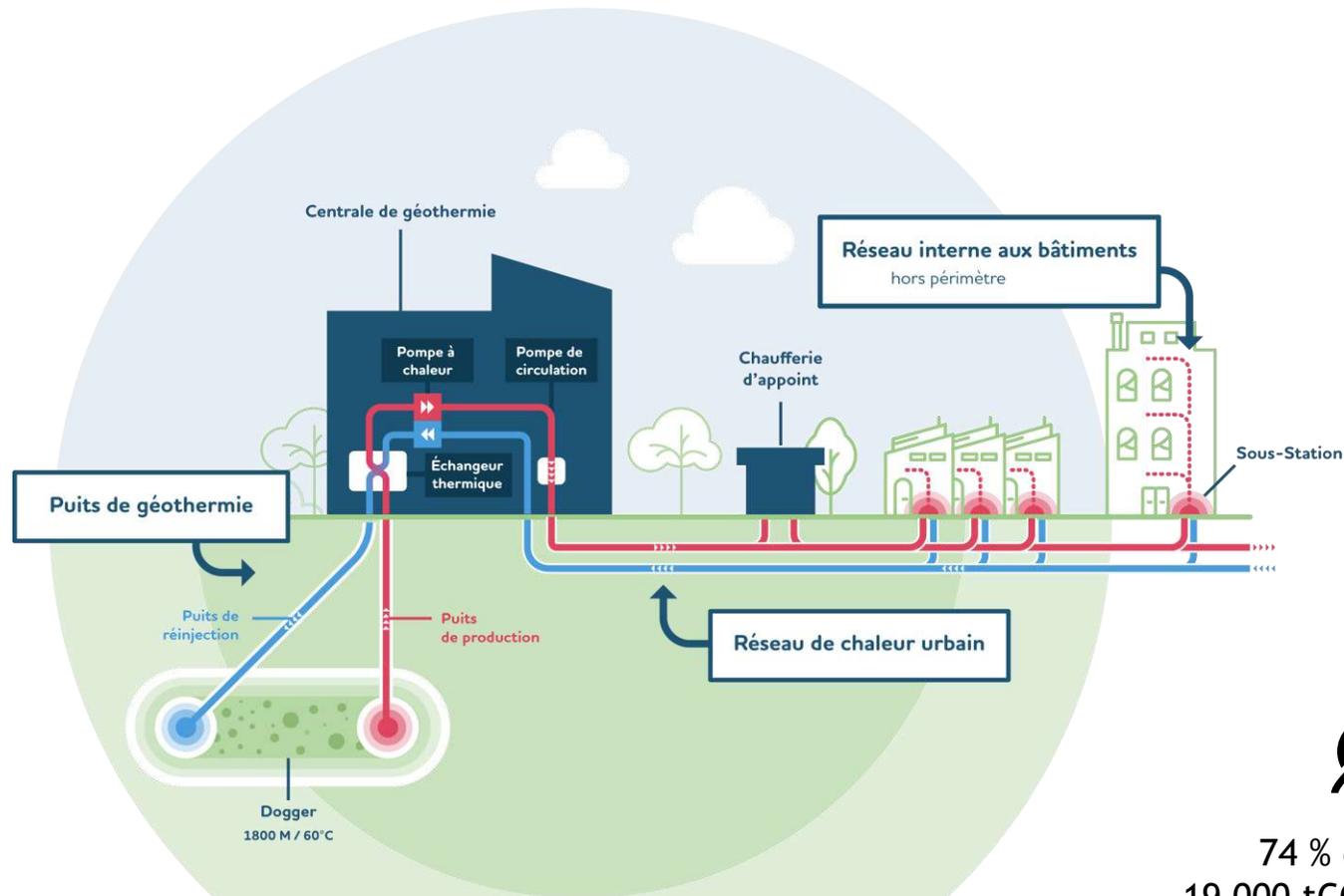
2 adhérents : Vallée Sud Grand Paris et la
Communauté Paris-Saclay
260 000 habitants
95% des déchets valorisés



Chauffage urbain

2 adhérents : Massy et Antony
1 réseau existant « Massy-Antony » :
- 26 000 éq. logements alimentés
- 81% d'ENR&R en 2023
1 réseau en projet à Antony

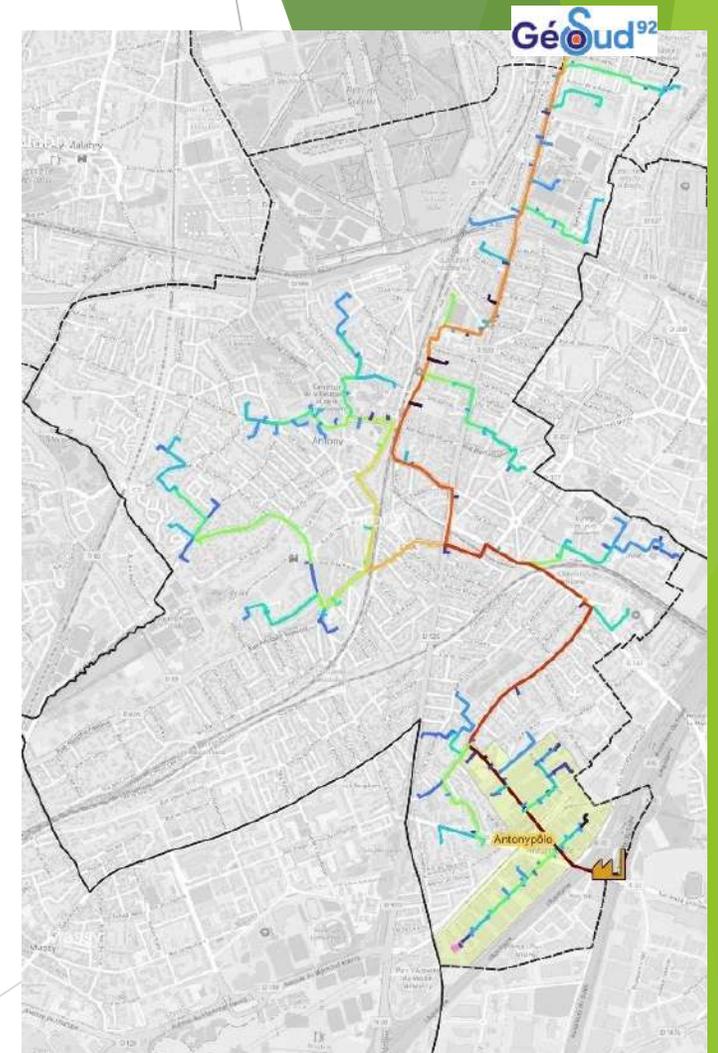
Le futur réseau de chaleur



© Géomalak



74 % d'ENR&R
19 000 tCO₂ évitées/an



L'occupation du terrain



✓ Emprise travaux : 7000 m²

Points d'attention :

- Dépollution
- Terrassement

✓ Emprise à terme : 3500 m²

Dont centrale : 800 à 1000 m²



Illustrations pendant/après travaux



Investissements et subventions

Investissements

| | | Coût (k€ HT) | | |
|---|--|---------------------------------------|---|-------|
| Réseau et sous-stations | Réseau | 28 968 | | |
| | Sous-stations | 6 583 | | |
| | TOT Réseau et SST | 35,6 M€ | | |
| Moyens de production | Production EnR | Forage doublet au DOGGER | 14 000 | |
| | | Surcoût multidrain | 1 600 | |
| | | Boucle géothermale | 2 200 | |
| | | PAC | 1 050 | |
| | | Equipements électriques | 2 200 | |
| | | Supervision | 200 | |
| | | Plateforme et VRD | 1 200 | |
| | | Génie civil centrale - partie géo+PAC | 2 700 | |
| | | Appoint Gaz | Process gaz appoint-secours | 3 142 |
| | | | Génie civil centrale - partie appoint gaz | 2 025 |
| TOTAL Moyens de production | 30,3 M€ | | | |
| Etudes, MOE, AMO, Aléas | Coût des études, MOE (5%), AMO (3,5%), Aléas (5%), Assurance SAF | 12,2 M€ | | |
| TOTAL investissements hors subventions (k€ HT) | | 78,1 M€ | | |

Subventions et participations

| | | Coût (k€ HT) |
|------------------------------------|--|----------------|
| Fonds chaleur (règles 2025) | | 21 889 |
| Participation aménageur Antonypole | | 5 520 |
| Droits de raccordement | | 4 237 |
| <i>dont CEE raccordement</i> | | 2 106 |
| | | 31,6 M€ |

Tarif de la chaleur pour les usagers

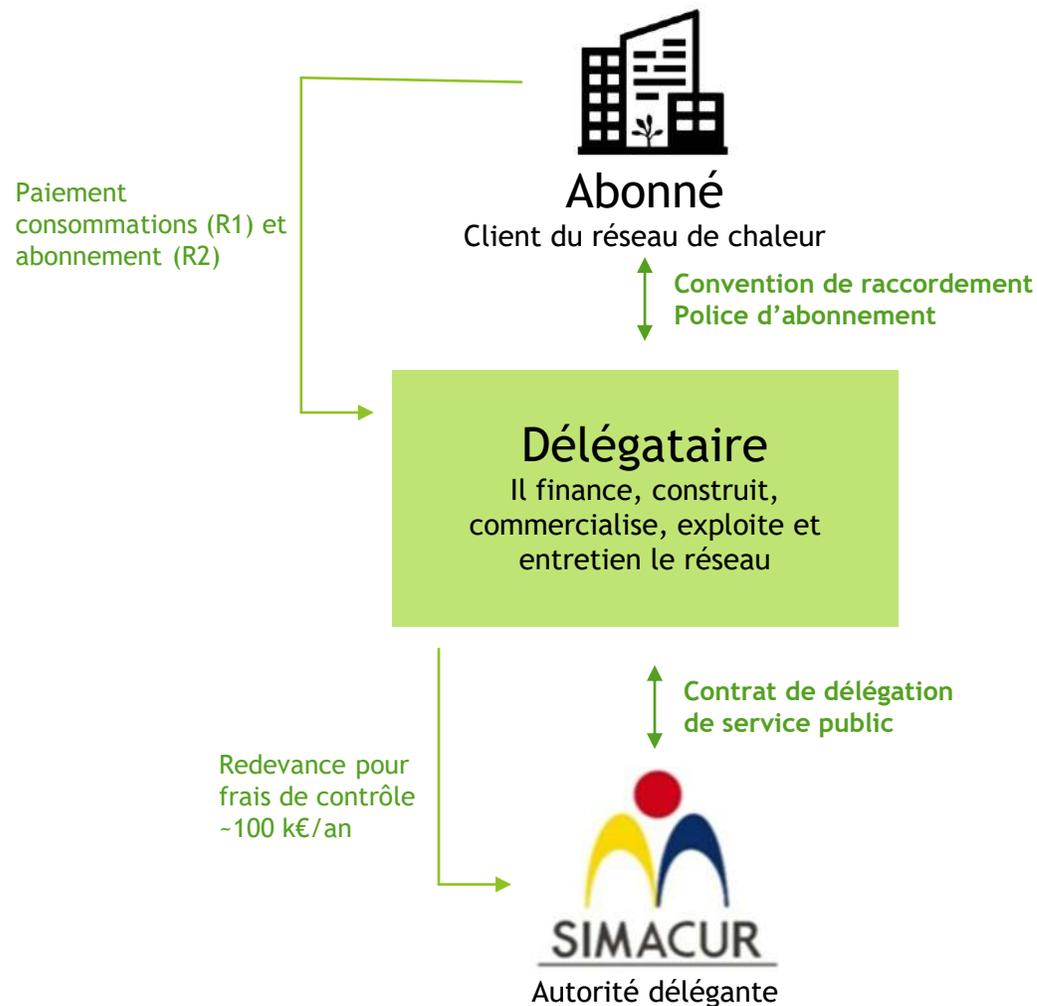
| | | |
|---------------------------|--------------|---|
| R1 Gaz (€HT/MWh) | 82,54 | |
| Taux de couverture (%) | 20,61% | |
| R1 Géothermie (€HT/MWh) | 6,28 | |
| Taux de couverture (%) | 58,23% | |
| R1 PAC (€HT/MWh) | 31,39 | |
| Taux de couverture (%) | 21,16% | |
| Tarif R1 (€HT/MWh) | 27,3 | |
| Tarif R2 (€HT/kW) | 108,6 | |
| Terme r21 | 2,1 | } Charges fixes d'exploitation |
| Terme r22 | 18,3 | |
| Terme r23 | 10,0 | |
| Terme r24 | 100,8 | - Gros entretien et renouvellement Amortissement des investissements sur 25 ans |
| Terme r25 | -22,7 | - Subventions |



Prix moyen pour l'utilisateur : ~100 € TTC/MWh

Délégation de service public

Relations contractuelles et flux financiers



Planning prévisionnel du projet

