



de l'opportunité
au
dimensionnement

22/03/2024

Webinaire –
Session n°2

Série de webinaires du Réseau d'animation en géothermie

Les étapes d'un projet :
de l'opportunité au dimensionnement

Animé par :

Armand POMART

Animateur régional géothermie
Île-de-France

armand.pomart@afpg.asso.fr

06 76 52 59 83



Le webinaire est enregistré.

Les présentations et le replay seront disponibles sur le site de l'AFPG.

Fonctionnement

Nous vous invitons à poser vos questions dans l'onglet dédié. Les intervenants y répondront à la fin du webinaire.



L'animation régionale géothermie :

- **Inscrit dans la PPE 2019-2023 – 2024-2028** : « Animation : l'un des enjeux de la géothermie consiste à monter une animation locale : les régions où un animateur dédié à la géothermie est en place affichent une dynamique plus marquée de développement de la filière (cas du Centre-Val de Loire, Hauts de France, Grand Est). Aussi, un minimum de 1 animateur formé par grande région permettrait de sensibiliser tant les particuliers que les institutionnels publics ou privés aux atouts de la géothermie pour la production de chaleur et/ou de froid. Cette action mériterait d'être portée à la fois par l'ADEME et les Régions concernées »
- **L'AFPG** assure la **coordination** du réseau d'animation en géothermie depuis 2018, avec pour support technique les services régionaux du **BRGM** (typiquement sur des sujets d'hydrogéologie).

Les différentes structures portant des postes d'animation en géothermie

Secteurs :

- Association professionnelle
- Université
- Pôle de compétitivité
- Associations locales autour de l'énergie

Association Française des Professionnels de la Géothermie (Paris)

UniLasalle (Beauvais)

Lorraine Energies Renouvelables (Blâmont/Toul)

Association Française des Professionnels de la Géothermie (Paris)

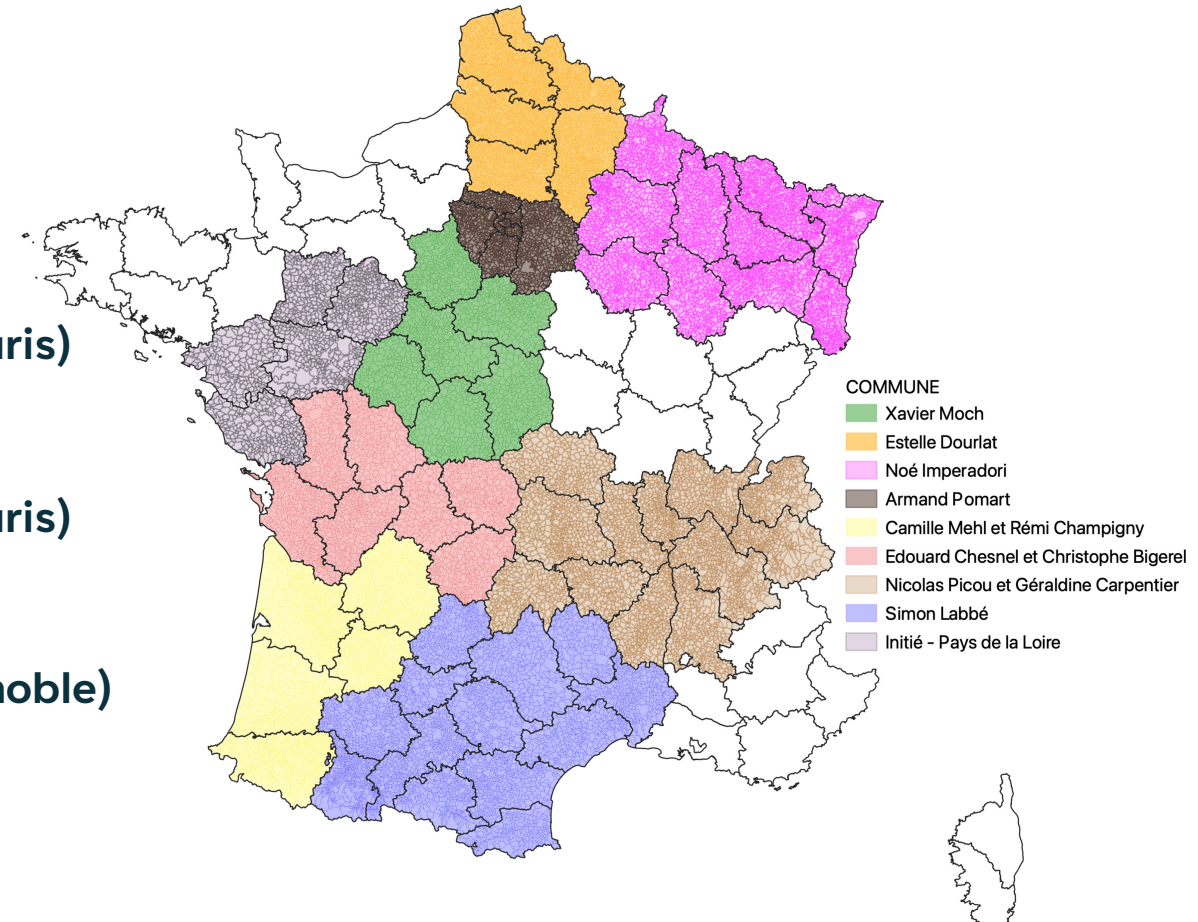
Agence Locale de l'Énergie et du Climat (Bordeaux)

Centre Régional des Energies Renouvelables (La Crèche)

AuRA-Energie Environnement (Villeurbanne) et Tenerrdis (Grenoble)

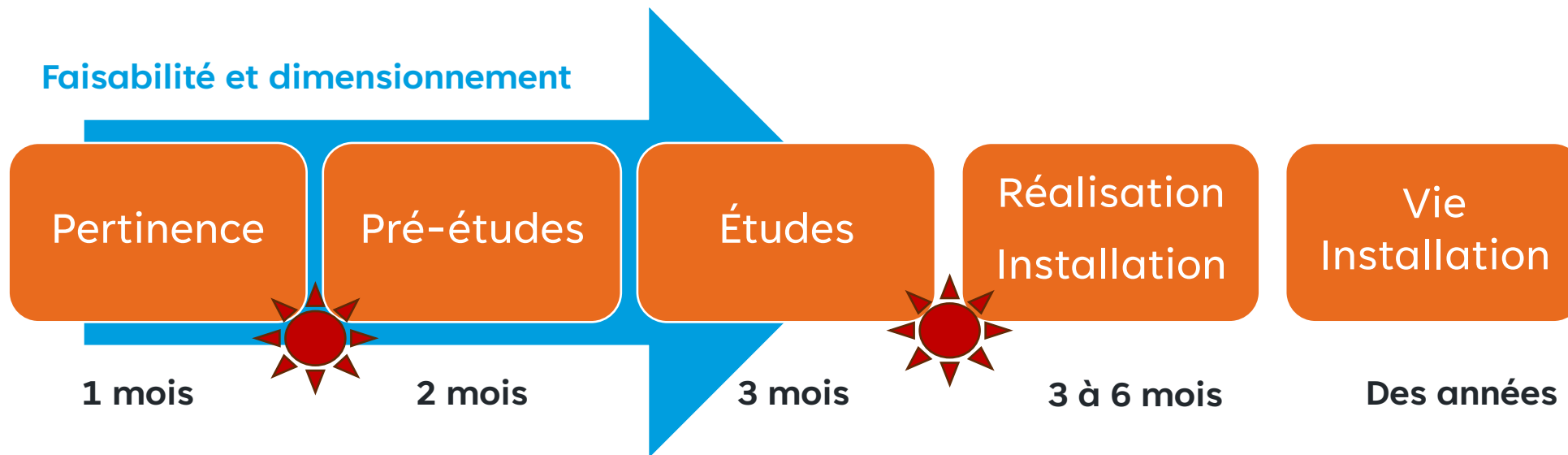
AREC Occitanie (Toulouse)

(à venir) (Pays de la Loire)



Les étapes d'un projet de géothermie

Faisabilité et dimensionnement



- Identification de la ressource
- Analyse des contraintes
- Adéquation besoins/ressources

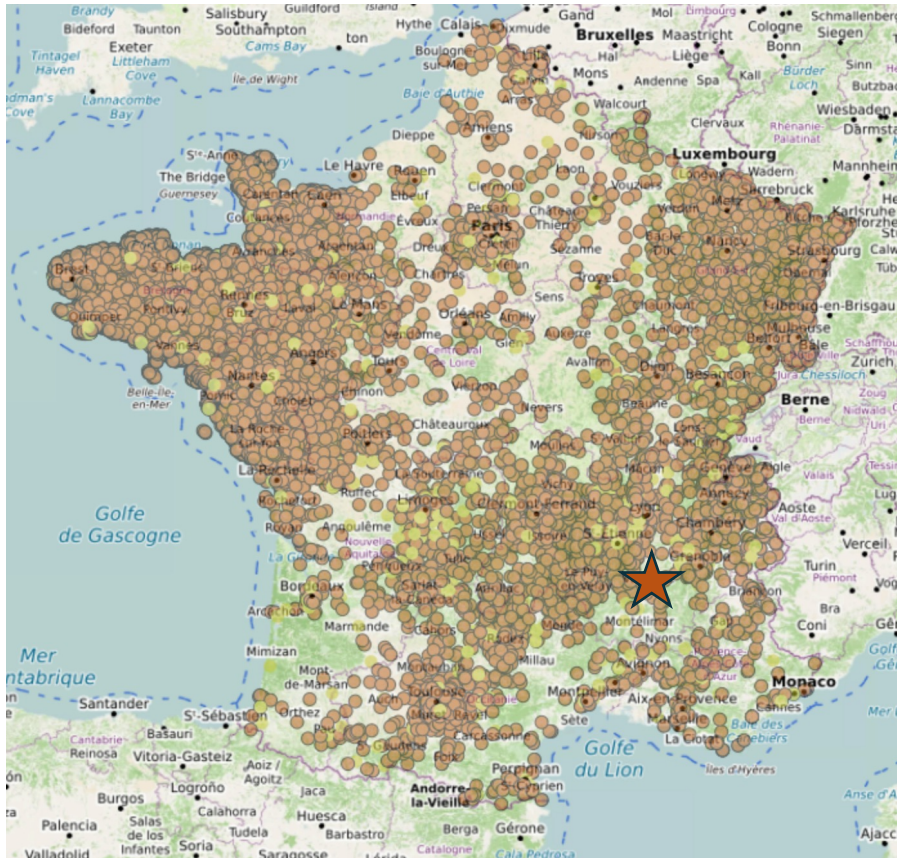
- Dimensionnement des installations sous-sol et pompe à chaleur
- Dossiers réglementaires
- Approche technico-économique
- Réalisation de forages d'essai (selon projet)

- Finalisation du dimensionnement si réalisation d'essai
- Consultation des entreprises
- Études détaillées techniques et financières

- Passation des marchés
- Réalisation des ouvrages sous-terrain
- Installations PAC, métrologie
- Réalisations des jonctions
- Suivi des travaux
- Réception des ouvrages

- Suivi d'exploitation
- Maintenance
- Contrôle des performances

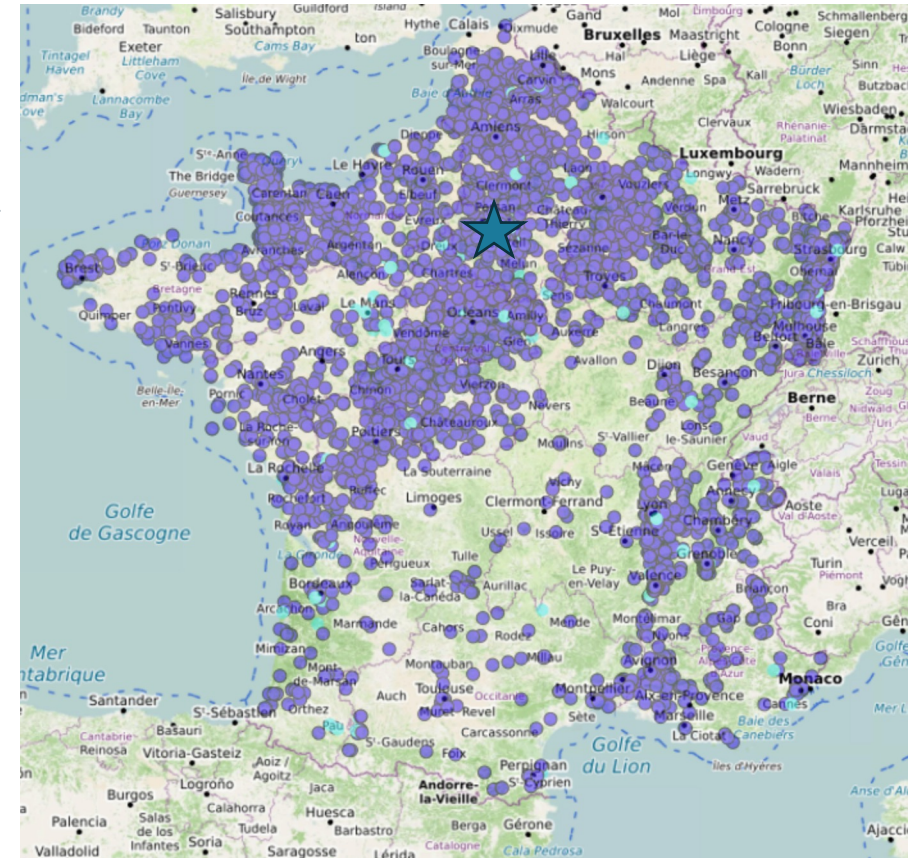
Aujourd'hui : de l'opportunité au dimensionnement



Projet n°1

Géothermie sur sondes

Centre hospitalier Drôme Vivarais
(étude de faisabilité finalisée avec réalisation d'un forage test)



Projet n°2

Géothermie sur nappe
Projet Arboretum
(projet finalisé)





de l'opportunité
au
dimensionnement

22/03/2024

Webinaire –
Session n°2

Etude de conception d'une installation géothermique sur sondes verticales

Centre Hospitalier Drôme Vivarais



Nicolas BERNARD

Responsable d'agence BE GEOTHER
(qualification 10.07)



5 rue des Essarts - 69500 BRON

n.bernard@geother-gengis.fr



Lucie VERHAEGHE

Directrice Centre Hospitalier Drôme
Vivarais (MOA)



Motivations pour passer sur la géothermie

- Inquiétude par rapport au dérèglement climatique
- Explosion du prix du gaz
- Recherche d'une énergie « locale » pour plus de résilience
- Possibilité d'améliorer le rafraîchissement des bâtiments



1^{ère} étude : comparaison avec une chaudière bois

- **Inquiétude par rapport au dérèglement climatique**
 - Le bois énergie est-il réellement plus vertueux ?
 - Le bois énergie est-il réellement plus vertueux en terme d'émissions de gaz à effet de serre ?
- **Explosion du prix du gaz**
 - Est-ce que le prix du bois ne va pas fortement augmenter?
- **Recherche d'une énergie « locale » pour plus de résilience**
- **Possibilité d'améliorer le rafraîchissement des bâtiments : Non.**



Plus grande complexité de la géothermie

- Moins de bureaux d'études expérimentés.
 - pourtant c'est une techno très mûre
- Bâtiment existant :
 - Nécessité de modifier les installations de chauffage pour les adapter à une eau à 40° plutôt qu'à 60°.
- Inquiétude et coût d'investissement
- Etudes complémentaires très détaillées pour lever toutes les difficultés



Une équipe de projet spécialisée



20.13



Surface

Sous-sol



10.07



Un **BE fluides/thermique**



- Estimatif des besoins (déperditions, puissances, optimisation des solutions et du taux de couverture)
- Etude comparative technico-économique des solutions énergétiques

Un **BE sous-sol/hydrogéologie**



- Caractérisation du potentiel du sous-sol et de la nappe
- Ingénierie du forage (suivi des travaux, modélisation du système sur le long terme, études des impacts)
- Adaptation aux réalités du terrain

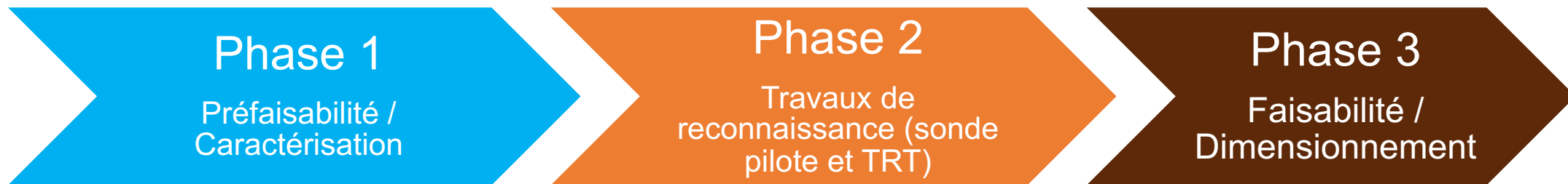
Un **foreur et installateur PAC qualifiés**



- Savoir faire technique d'un forage géothermique (nappe ou sonde) et PAC
- Expérience et moyens adaptés
- RGE garant des procédures et normes



Un cheminement technique cadré (CDC ADEME)



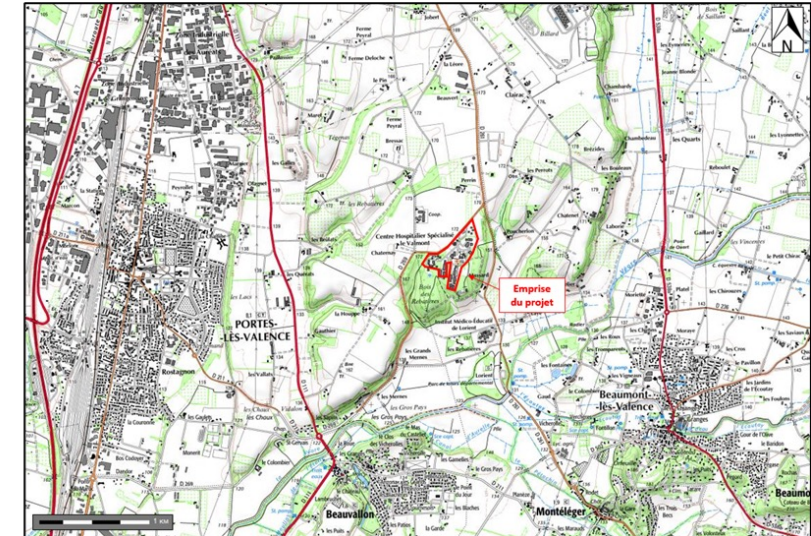
En particulier, l'étude de faisabilité permet de :

- **Dimensionner le champ de sondes (géomodélisation)**, sur la base des données des travaux de reconnaissance (géologiques et thermiques) et des données thermiques (STD et fiche PAC) ;
- **Détailler les spécifications techniques liées à la mise en œuvre du futur champ de sondes** ;
- **Etudes aidées par le fonds chaleur de l'ADEME (aide à la décision).**

Phase 1 – Etude de pré faisabilité

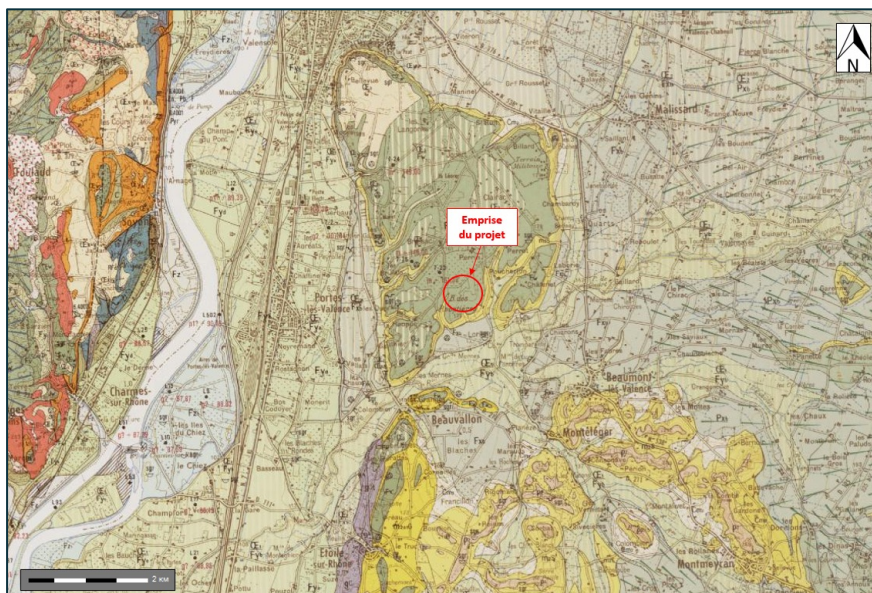
Prédéfinitions du besoin et typologie du projet

- 391 Route des Rebatières, à Montéléger
- Côte du terrain : entre +155 et +172 m NGF
- Parcelles : n°163, 176 et 177 – section AC
- Surface : 18 000 m² (8 bâtiments)



Phase 1 – Etude de pré faisabilité

Analyse du contexte géologique et hydrogéologique



Carte géologique au 1/50 000^{ème} de Valence

Coupe lithologique attendue (avant sonde pilote) :

- 0 – 25 m : Alluvions fluviatiles ;
- 25 – 95 m : Molasse sableuse à marneuse ;
- 95 – 200 m : Calcaire argilo-crayeux.

Légende :

Fw (1) : Alluvions fluviatiles des hautes terrasses mindelliennes	Fxb (1) : Alluvions des moyennes terrasses (Alluvions fluviatiles du Riss récent)
OE3 / Fw : Limons sur terrasse mindelliennes	m2a1G : Grès de Grane
m2S : Sables molassiques	gC : Brèches et conglomérats
OE1 / Fyb : Limons superficiels des basses terrasses wurmiennes	P2 : Cailloutis calcaires des serres de Montmeyran

Phase 1 – Etude de pré faisabilité

Analyse du contexte réglementaire

SDAGE : Bassin Rhône-Méditerranée-Corse / 2022-2027

SAGE : Bas Dauphiné Plaine de Valence

Captages AEP : non concerné

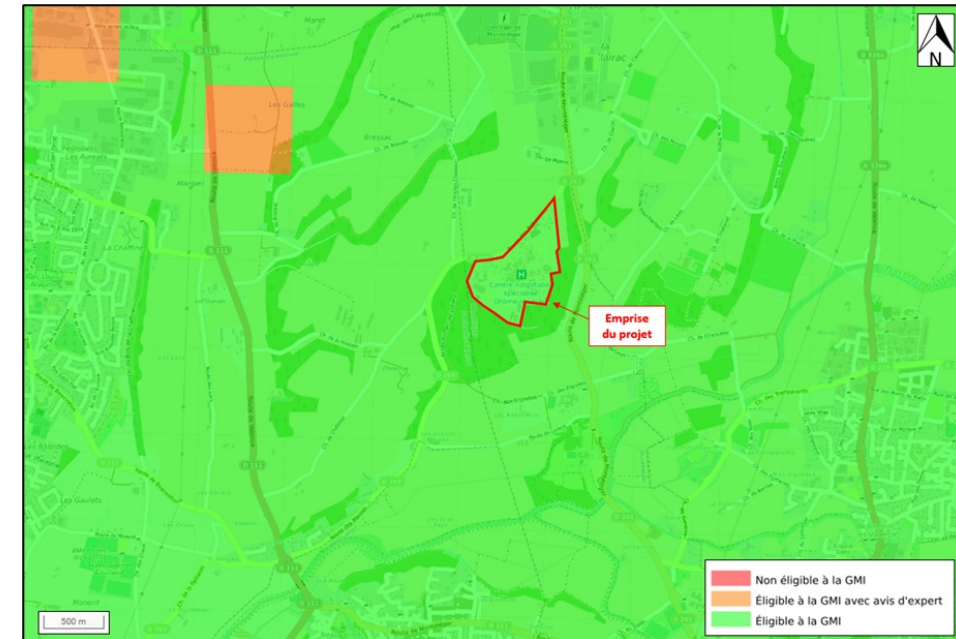
Risques naturels : non concerné

Sites pollués : 0 sites BASOL, 1 site BASIAS

Zones naturelles (Natura 2000 et ZNIEFF) : non concerné

Géothermie de Minime Importance (GMI) : Zone verte

Contexte réglementaire : Compatible



Phase 1 – Etude de pré faisabilité

Synthèse de la phase 1

1. Besoins importants – Couverture de la géothermie partielle
2. Contexte géologique : Potentiel sur sondes à privilégier – Nappe absente
3. Contexte réglementaire : Compatible

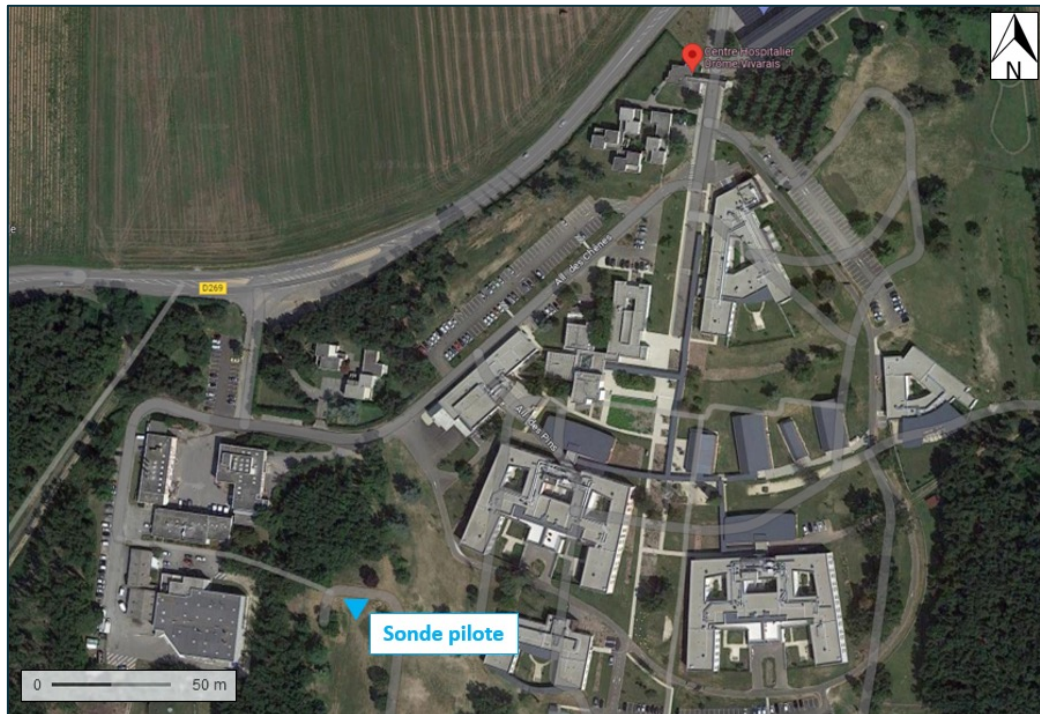
Orientations techniques et réglementaires pour la suite du projet :

1. Réalisation d'une sonde test et d'un TRT (indispensable) – Phase 2
2. Cadre de la Géothermie de Minime Importance à privilégier (GMI)
3. Faisabilité et dimensionnement – Phase 3



Phase 2 – Travaux de reconnaissance

Réalisation d'une sonde pilote par un foreur RGE



Objectifs : Valider la géologie attendue (phase 1) + conditions de forages

- Profondeur : 146 m ;
- Type de sonde : 4 x 32 mm x 2,9 mm ;
- Mode de foration : Marteau fond de trou (air), avec tubage à l'avancement jusqu'à 34 m, puis rotary à la boue (au PDC) de 34 à 154 m/TN ;
- Diamètre : De 0 à 34 m : 152 mm et de 34 à 154 m : 89 mm.

Phase 2 – Travaux de reconnaissance

Réalisation d'une sonde pilote par un foreur RGE



Coupe lithologique reconnue

Profondeur	Epaisseur (m)	Lithologie rencontrée
0 – 6 m	6 m	Terre, sable et graviers
6 – 13 m	7 m	Sable et graviers
13 – 60 m	47 m	Molasse sableuse
60 – 115 m	55 m	Molasse marneuse
115 – 148 m	33 m	Craie blanche, argileuse
148 – 151 m	3 m	Craie rose, argileuse
151 – 152 m	1 m	Craie blanche, argileuse
152 – 154 m	2 m	Craie rose, argileuse

Coupe lithologique attendue (avant sonde pilote) :

0 – 25 m : Alluvions fluviales ;
25 – 95 m : Molasse sableuse à marneuse ;
95 – 200 m : Calcaire argilo-craeux.

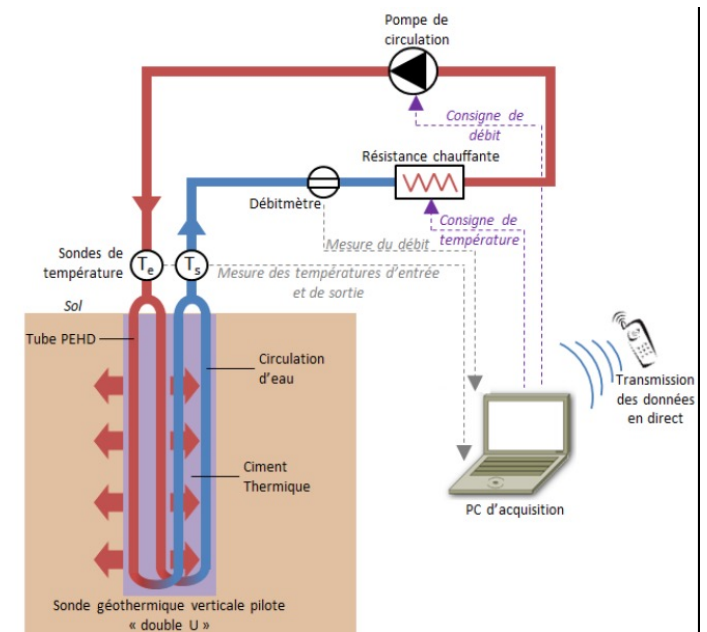
Phase 2 – Travaux de reconnaissance

Test de réponse thermique (TRT)



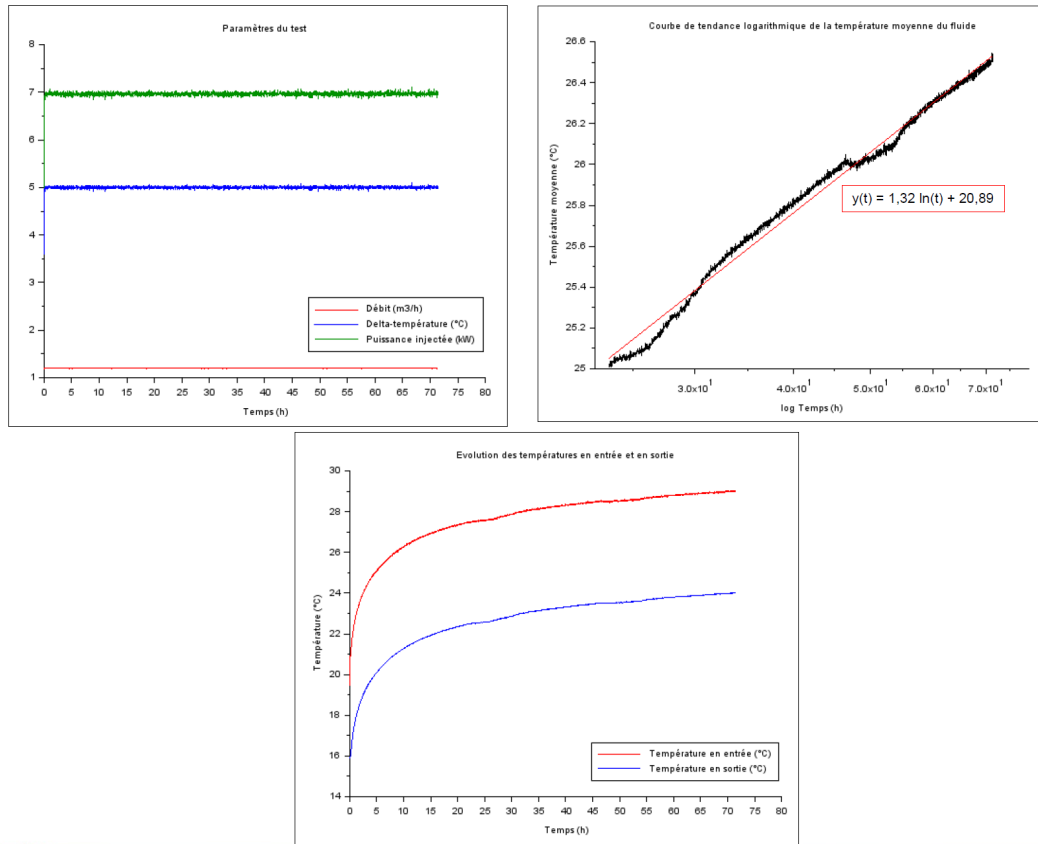
Objectifs :

- Sollicitation thermique du terrain sur **72 heures**
- Définition de la conductivité thermique in-situ



Phase 2 – Travaux de reconnaissance

Test de réponse thermique (TRT)



Résultats du TRT

Paramètres	Valeurs mesurées
Température moyenne initiale	15,82 °C
Capacité calorifique volumique du terrain	2,0 à 2,5 MJ/m³.K
Conductivité thermique du terrain	2,87 W/m.K
Résistance thermique de la sonde	0,09 K/W.m ⁻¹

Conductivité thermique des terrains : **favorable**

Résistance thermique de la sonde : **bonne exécution**

Phase 3 – Faisabilité dimensionnement

Définition des besoins (CETRALP – Fluides)

Nombre de scénarios : deux scénarios modélisés.

Objectif : tester deux régimes de température côté condenseur en mode chauffage différents.

Intérêt des deux scénarios :

- Mettre en place un dispositif avec des régimes de température adaptés aux infrastructures déjà existantes.
- Limiter les changements et modifications à réaliser.

Scénario n°1 :

Régime de température au condenseur : 30/45°C (mode chauffage).

Scénario n°2 :

Régime de température au condenseur : 50/65°C (mode chauffage).



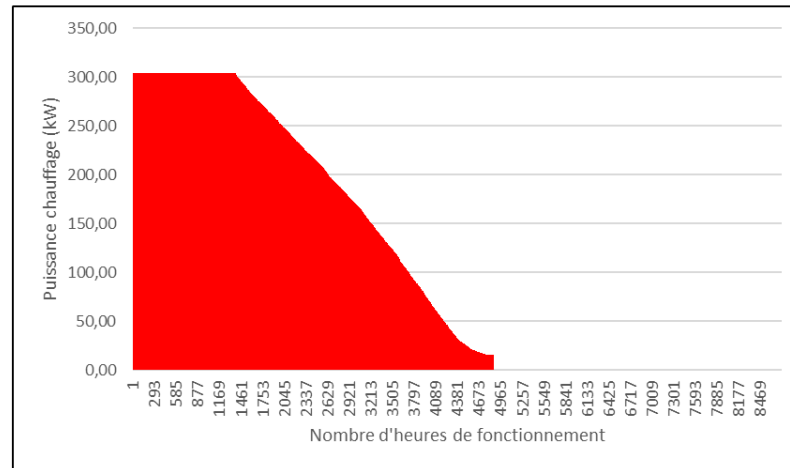
Phase 3 – Faisabilité dimensionnement

Définition des besoins (CETRALP – Fluides)

- Définition des besoins et puissances horaires.
- Courbes monotones de chauffage et rafraichissement.
- Choix des scenarios de fonctionnement.
- Type de PAC.

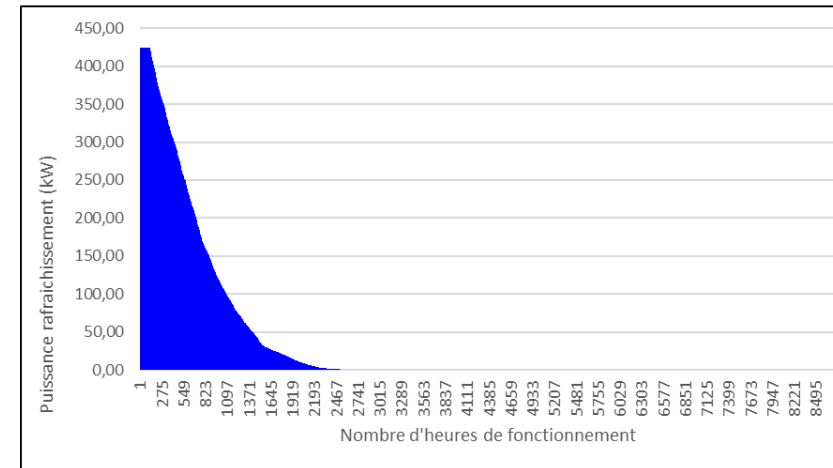
Mode	Puissance (kW) Côté Bâtiment	Puissance (kW) Côté sous-sol	Energie (MWh/an) Côté Bâtiment	Energie (MWh/an) Côté Bâtiment
Chauffage	304	223	956	701
Refroidissement	415	499	328	386

Fonctionnement : 4876 h/an



Courbe monotone issue de la STD – Mode chaud (Source : CETRALP)

Fonctionnement : 3821 h/an



Courbe monotone issue de la STD – Mode froid (Source : CETRALP)

Phase 3 – Faisabilité dimensionnement

Adéquation besoins - ressources (GEOTHER – BE SOUS-SOL)

Caractéristiques de la PAC et du groupe froid retenus

Caractéristiques	RTSF 110 HSE	GVWF 115 XSE G
	Travail – Mode CHAUD	Travail – Mode FROID
Puissance totale	304,1 kW	424 kW
Puissance absorbée	81,1 kW	86,7 kW
Régime nominal de température à l'évaporateur	0/-3°C	8/17,2°C
Delta de température à l'évaporateur	3°C	9,2°C
Régime nominal de température au condenseur	30/45°C	26/32,5°C
Delta de température au condenseur	15°C	6,5°C
COP / EER nominal	3,75	4,89

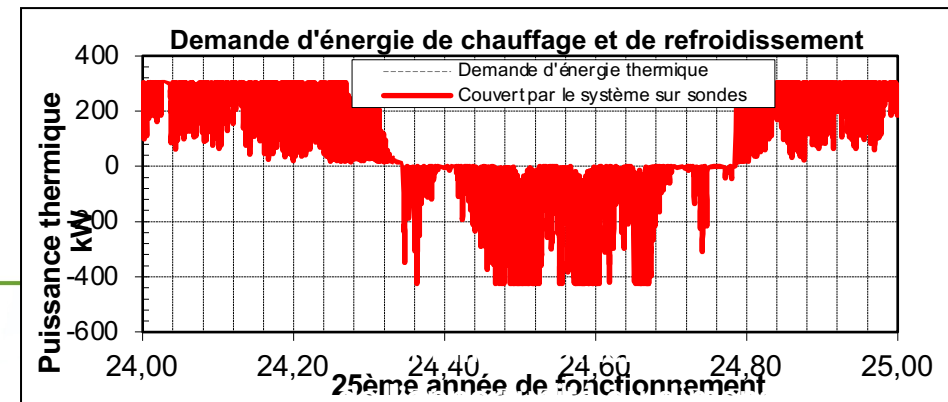
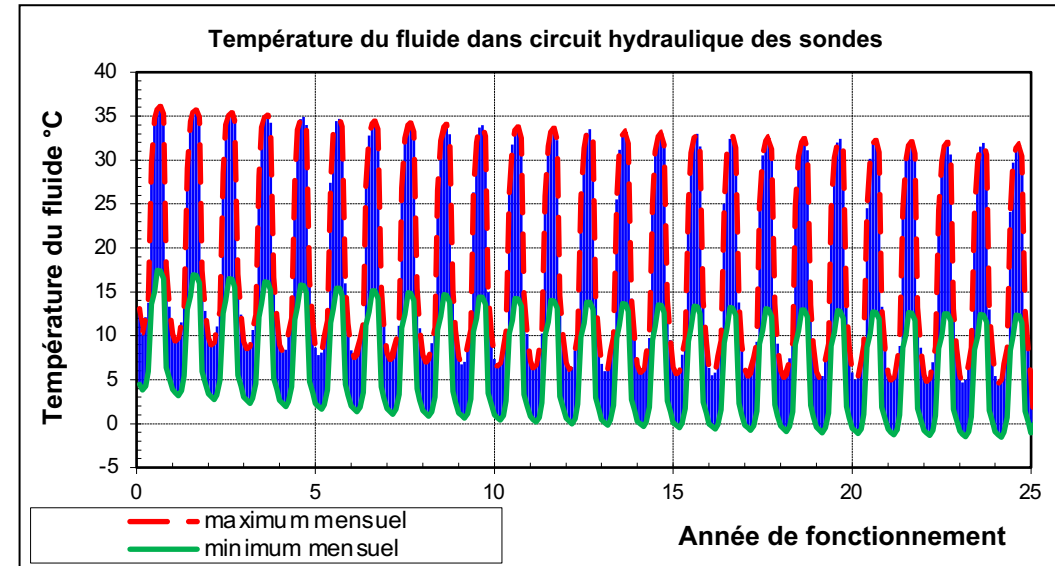
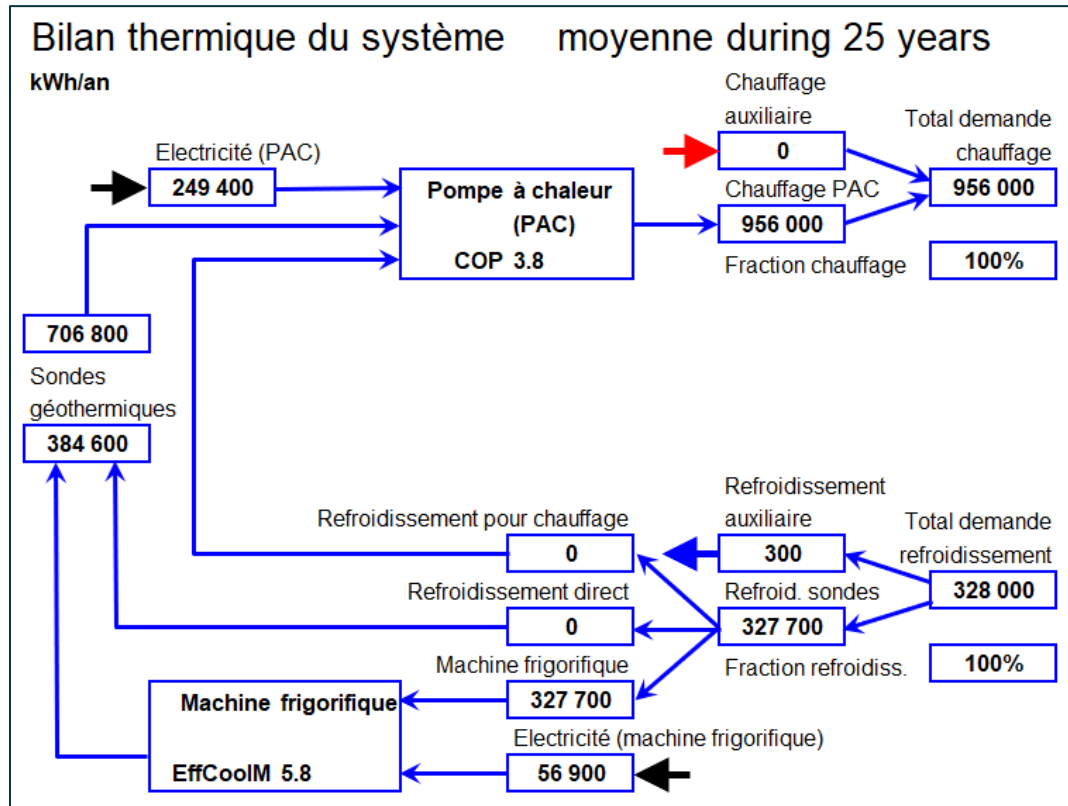
Paramètres du modèle (résultats TRT/contexte géol)

Paramètre du modèle	Valeur paramétrée
Durée de la modélisation	25 ans
Température initiale	15,82 °C
Caractéristiques du sous-sol	
Conductivité (λ)	0 – 150 m : 2,87 W/m.K
Capacité thermique (C_p)	2,30 MJ/m ³ .K
Présence d'eau	Venues d'eau identifiées (cotes non connues)
Caractéristiques des sondes	
Résistivité de la sonde (R_b)	0,09 K/W.m ⁻¹
Profondeur des sondes	150 m
Ecart moyen entre les sondes	10 m
Nombre de sondes	44 sondes
Diamètre des tuyaux	Extérieur : 0,032 m / Intérieur : 0,026 m
Température minimale dans les sondes	-3°C



Phase 3 – Faisabilité dimensionnement

Géomodélisation des scénarios (GEOTHER – BE SOUS-SOL)

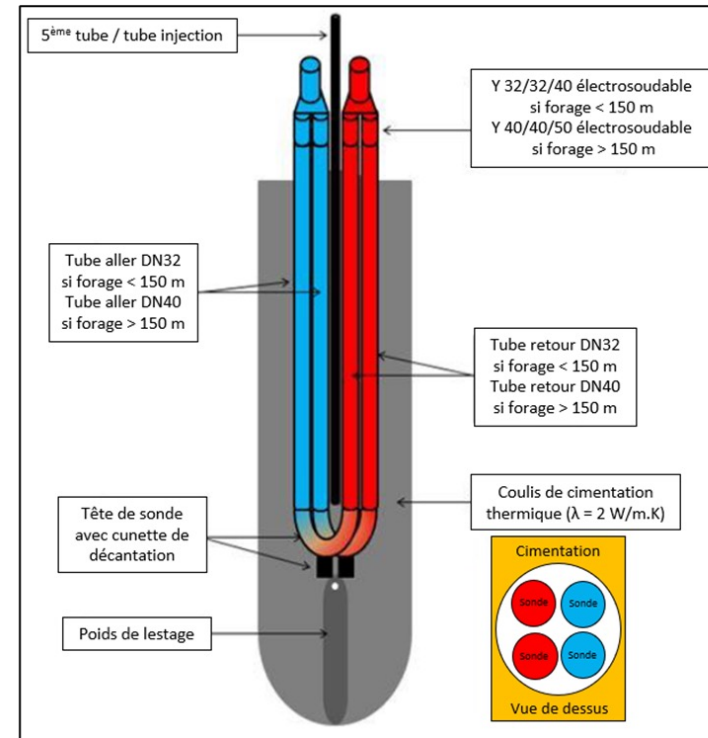


Phase 3 – Faisabilité dimensionnement

Dimensionnement du dispositif final (GEOTHER – BE SOUS-SOL)

Caractéristiques d'une sonde :

- Diamètre du forage : 150 mm ;
- Profondeur du forage : 150 m ;
- Type de sonde : PEHD, double U, DN 32 mm (épaisseur 2,9 mm, PN16 bars) ;
- Cimentation : par tuyau d'injection, avec écarteurs disposés tous les 2 mètres ;
- Niveau de cimentation : Injection ciment sous pression sur toute la hauteur du forage (contact thermique sonde / terrain).



Coupe schématique d'une sonde géothermique

Phase 3 – Faisabilité dimensionnement

Dimensionnement du dispositif final (GEOETHER – BE SOUS-SOL)

44 sondes de 150 ml

Scénario n°1 : Viable // Scénario n°2 : Non

Production énergie estimée :

- Chauffage : 707 MWh ENR/an
- Rafrachissement : 384 MWh ENR/an

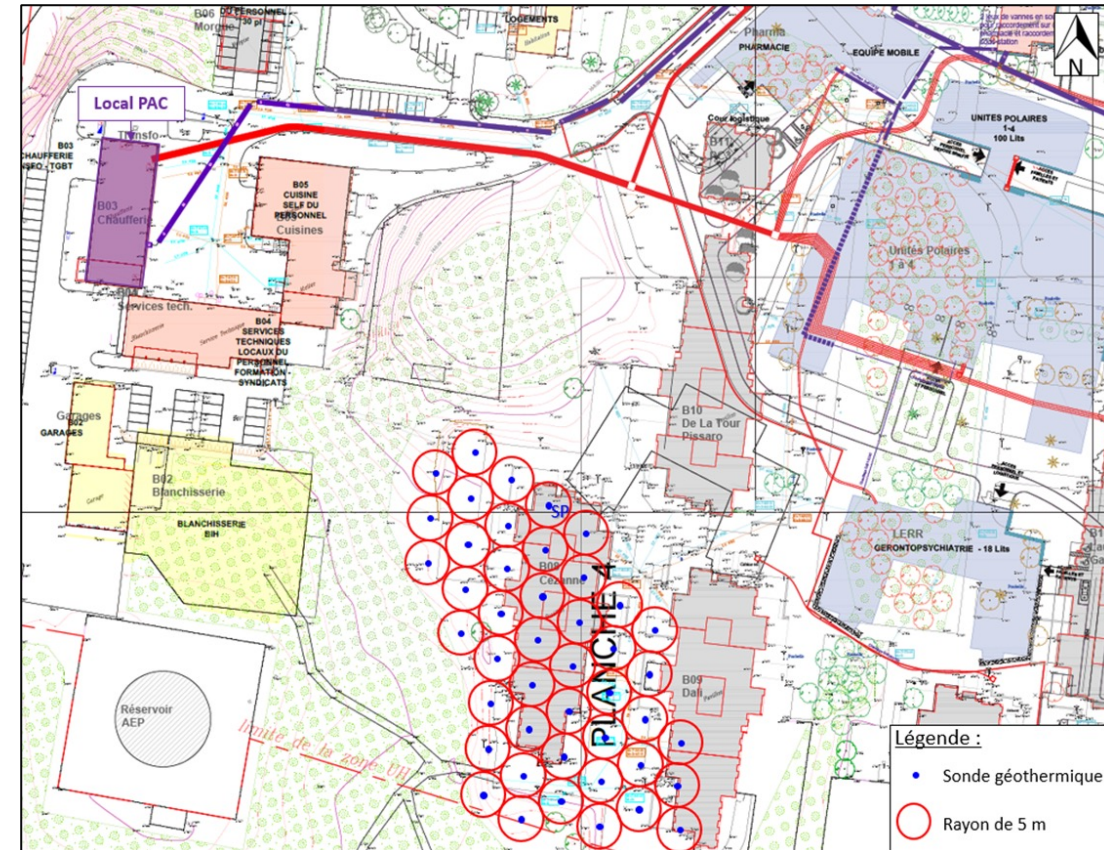
Investissement (boucle primaire) :

- 43 sondes de 150 m (6450 ml)
- Budget estimé : entre 770 k€ et 850 k€

Financement – Fonds Chaleur (estimé) :

Subventions production chauffage : 706 800 €

Subventions production froid actif : 24 530 €



La suite... – l'exécution

Suivi d'exécution des travaux et accompagnement (BE GEOTHER)

Assistance technique à la consultation des entreprises (CCTP, Analyse offre)

- Lot Géothermie (Boucle Primaire) – BE sous-sol.
- Lot Installations surfaces - BE fluides/CVC.

Suivi d'exécution

- Suivi des travaux de forages, raccordements, livraisons.

Assistance technique à la demande d'aide à l'investissement fond chaleur.

Dossier réglementaire (Code Minier / GMI).



Merci de votre attention

Questions / réponses à poser dans l'onglet dédié « Q&R »





de l'opportunité
au
dimensionnement

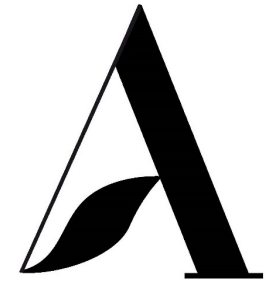
22/03/2024

Webinaire –
Session n°2

ARBORETUM

ZAC des Papèteries

La Défense – Nanterre (92)



ARBORETUM

Géothermie sur boucle d'eau tempérée



Laurent PETIT

WO₂

Directeur de l'Ingénierie

WO2 - Maître d'ouvrage délégué

Tel : +33 6 24 34 72 02

l.petit@wo2.com



Martin RIGAL

GINGER
BURGEAP

Chef de projets - Géothermie

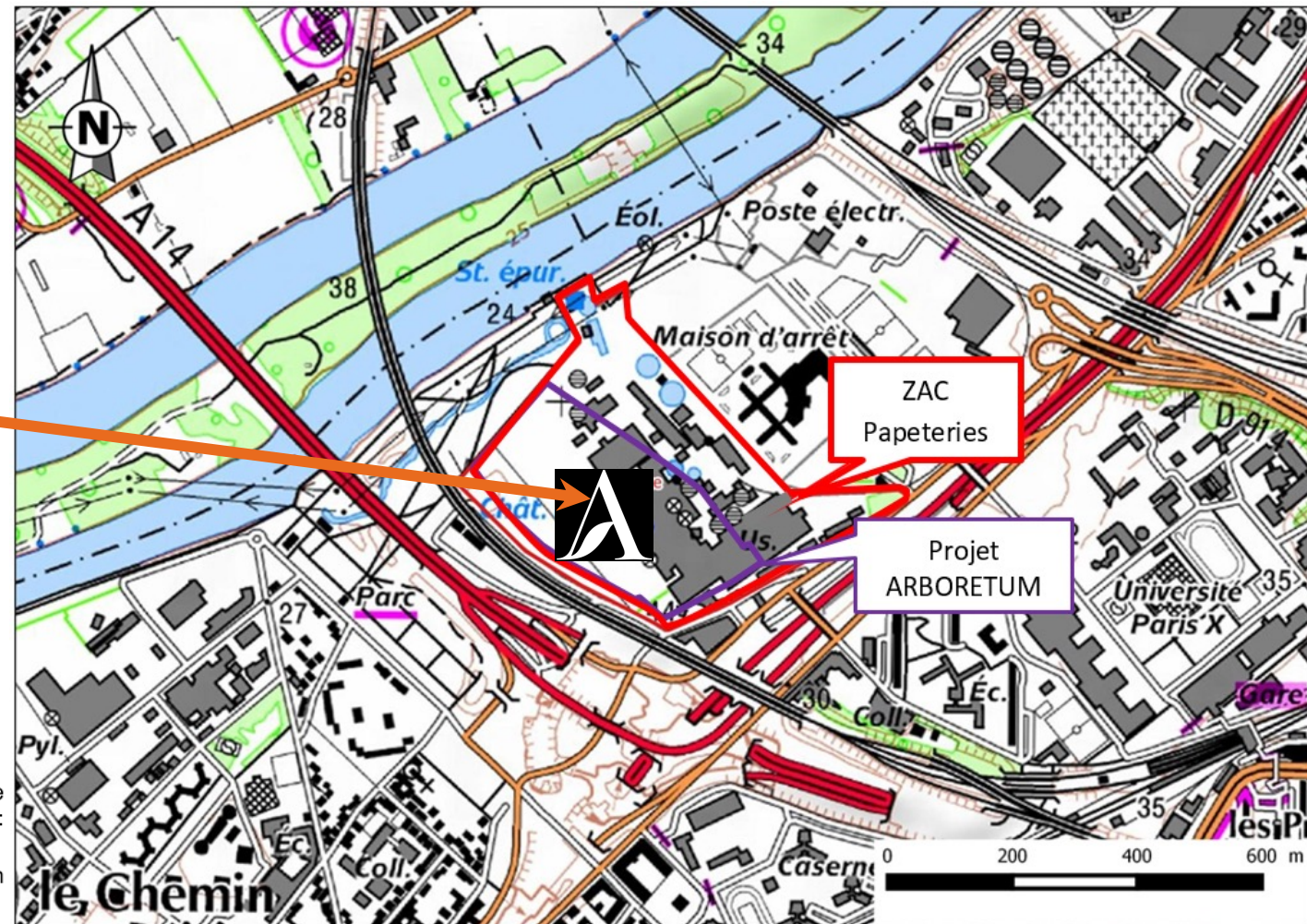
GINGER BURGEAP – Bureau d'études

Tel : +33 6 89 16 19 14

m.rigal@groupeginger.com



Localisation



Fond cartographique : carte topographique 1/25 000^{ème} IGN éd.©

- Arrêté de création de la Z.A.C des Papeteries en date du 19 mai 2017 ;
- Arrêtés autorisant l'aménagement de la Z.A.C des Papeteries :
 - Arrêté préfectoral n°2018-184 daté du 23 novembre 2018 après instruction du dossier de Demande d'Autorisation Environnementale Unique (D.A.E.U), (réf. Int. D.R.I.E.E I-d-F : « 75 2017 00156 / DLE ») ;
 - Arrêté préfectoral complémentaire n°2020-23 daté du 21 février 2020 après instruction d'un porter à connaissance de l'administration (réf. RGHCIF08623-03).

Projet immobilier



niveau E2C2



Excellent

BREEAM®

Excellent

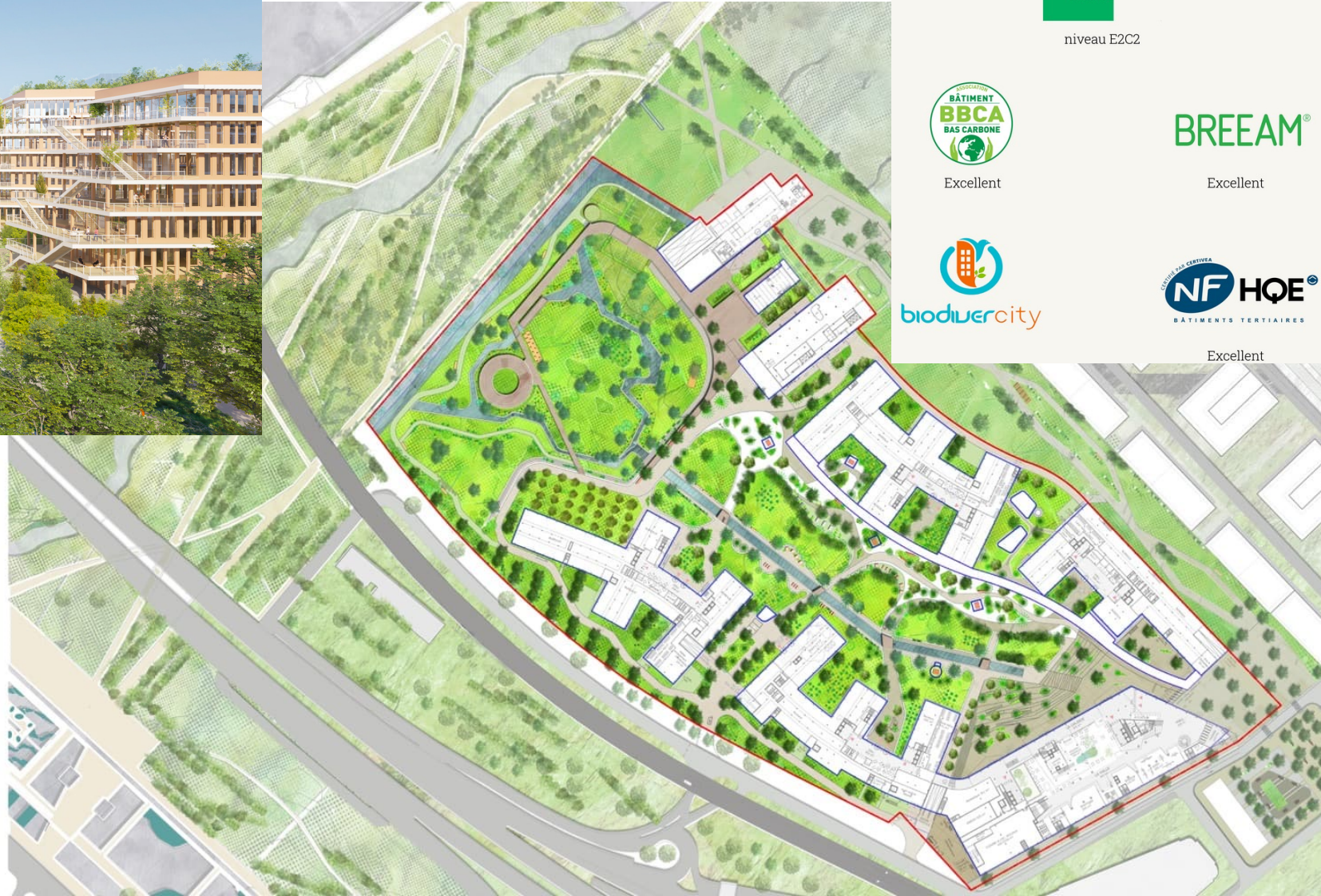


biodiversitycity



Excellent

- 125 000 m² de bureaux et services
- Parc intérieur de 9 hectares planté de 1000 arbres,
- Potagers et vergers de 3 200 m²
- 1 canal de 660 m
- 8 restaurants
- 1 centre de conférence
- 1 900 m² de sport indoor



Besoins énergétiques prévisionnels

Bât. A, B, C, D, E
(+ECS-RIE)

CHAUD

FROID

3,5 MW

4,5 MW

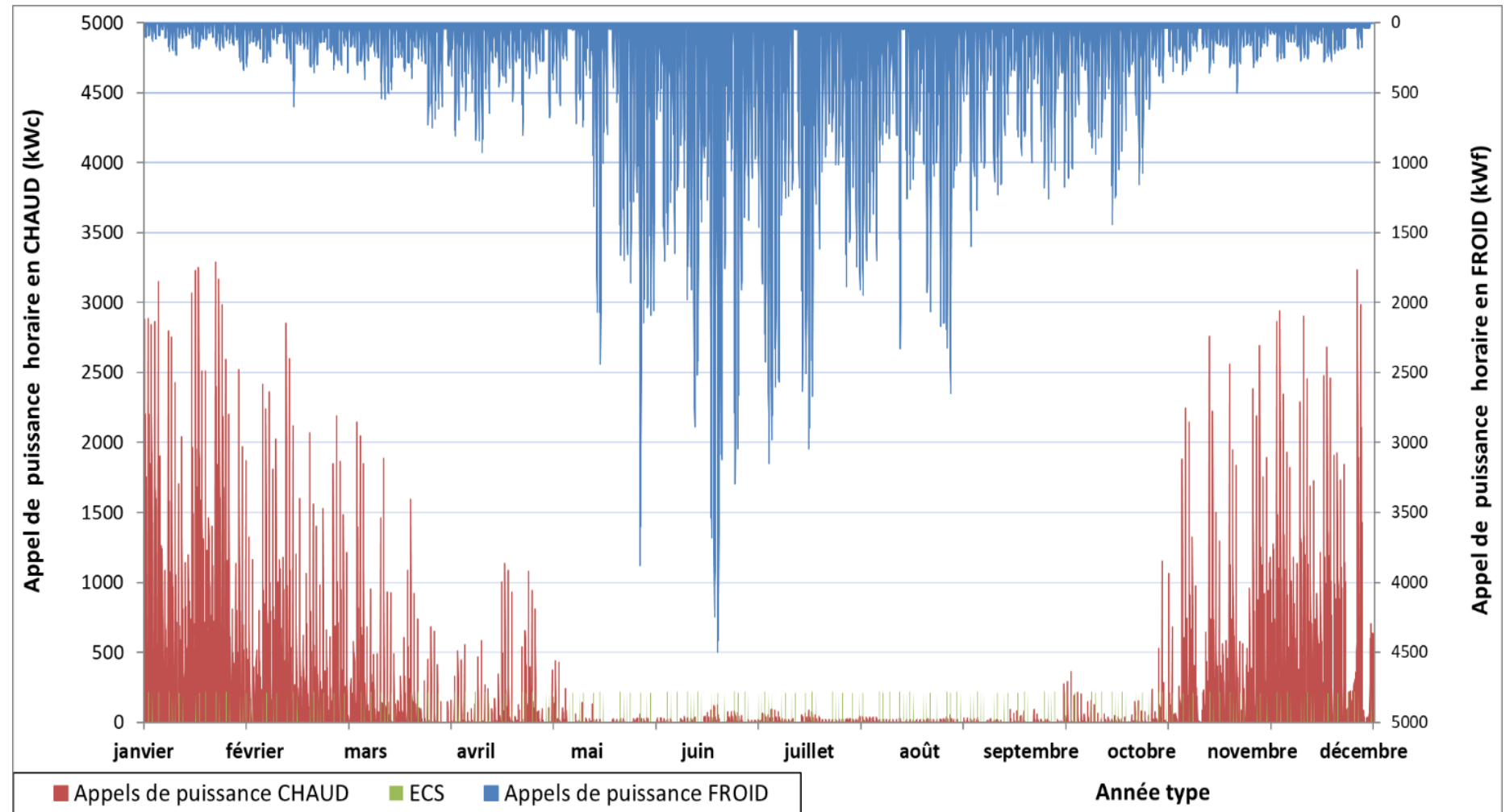
1,8 GWh

2,6 GWh

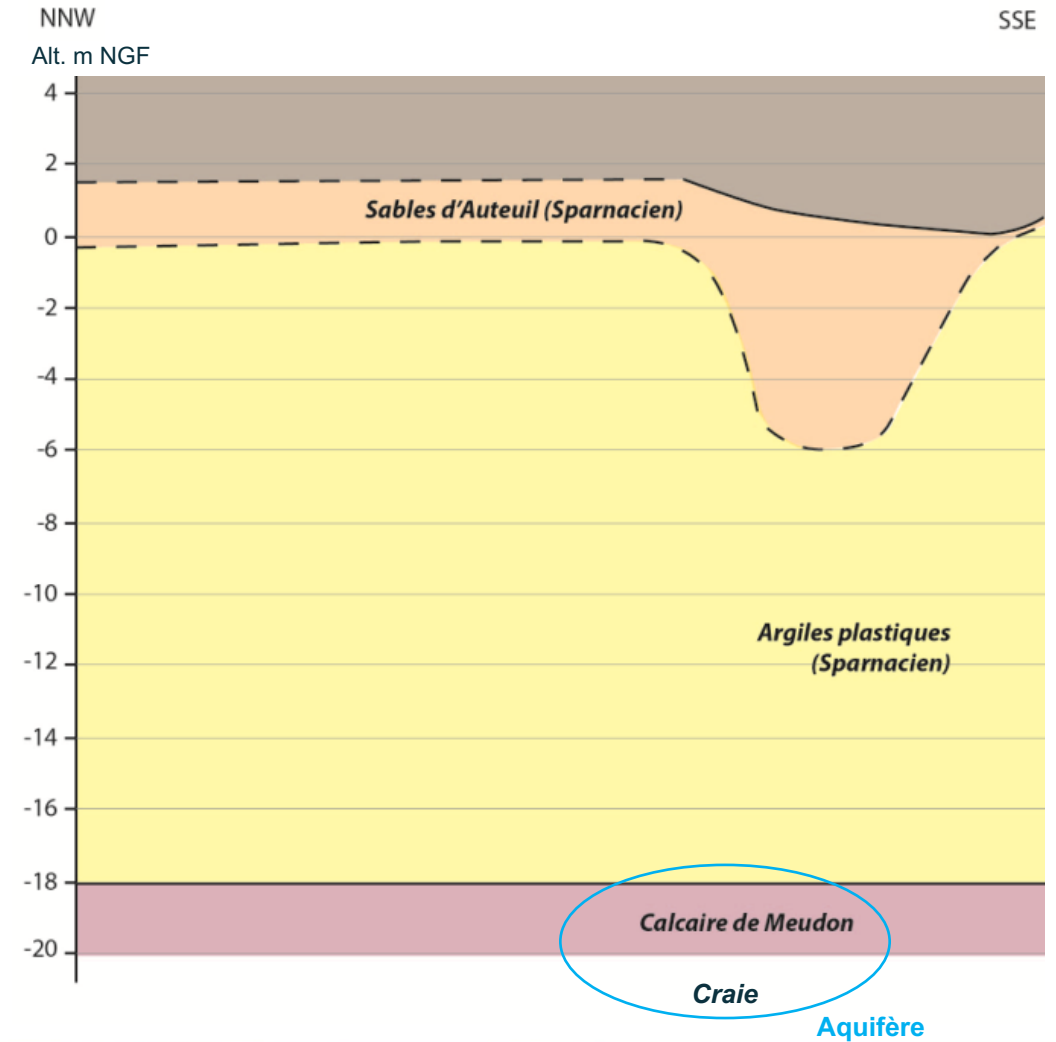
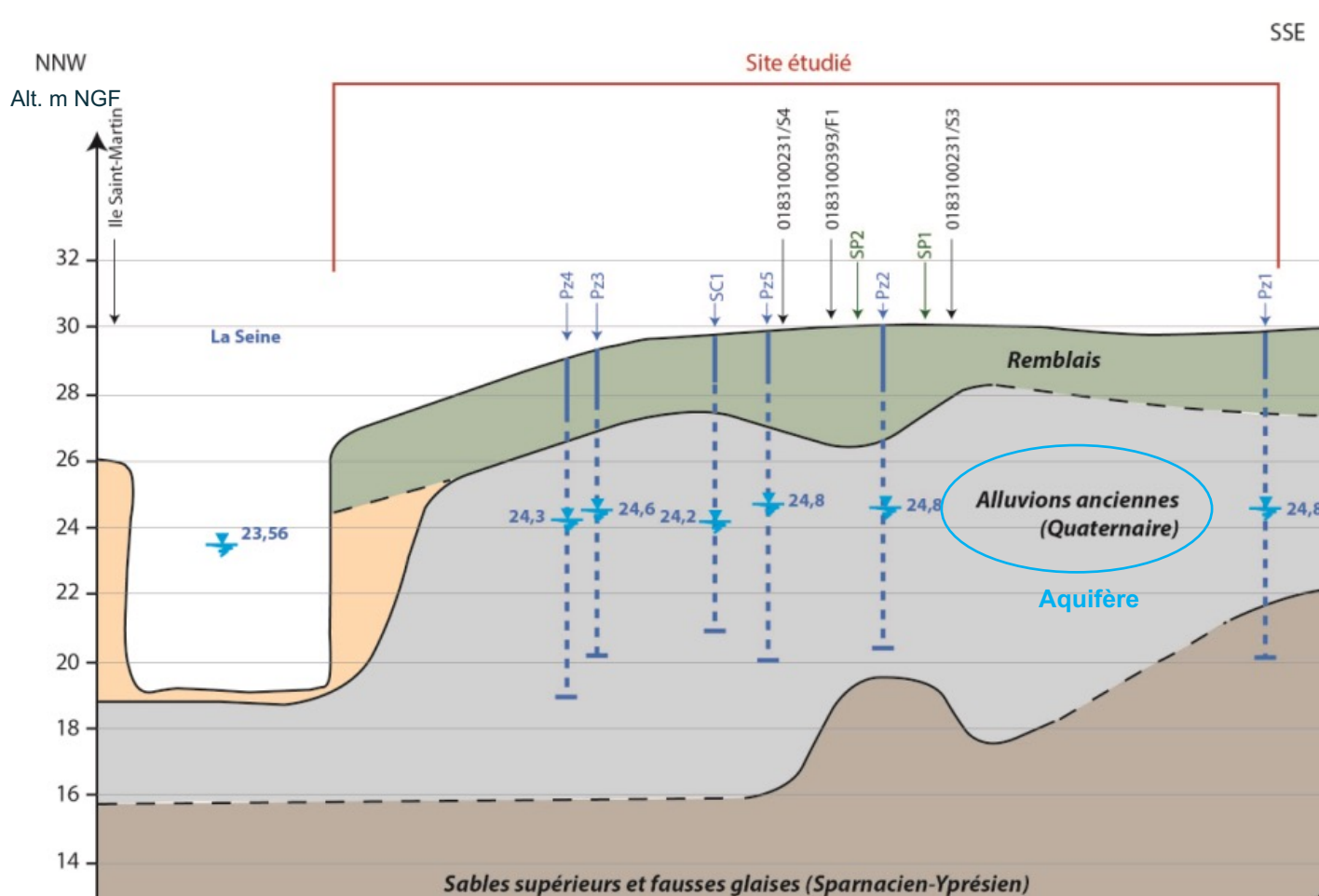
ECS RIE – Bât.C

227 kW

169 MWh

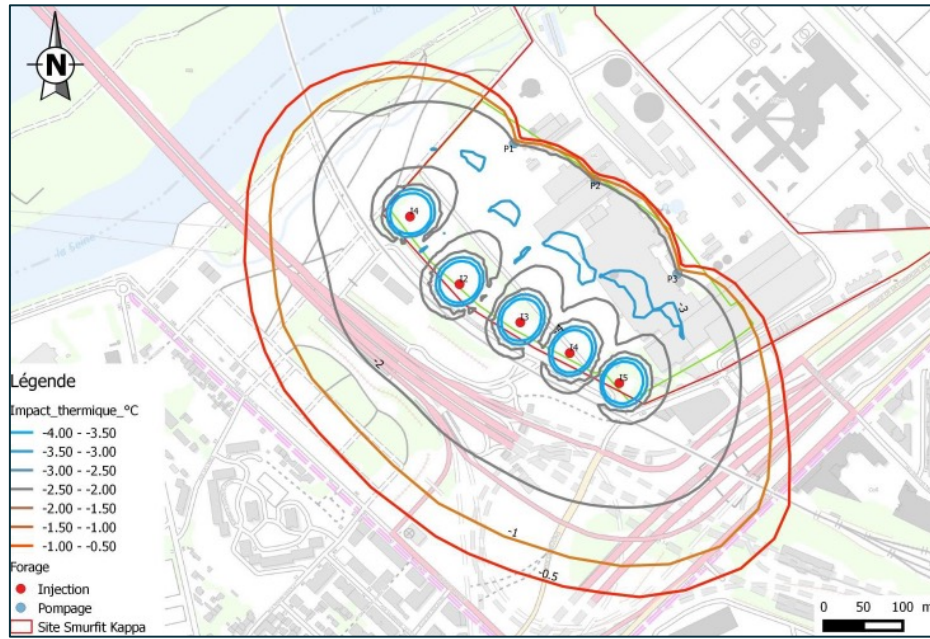


Coupe géologique



Choix du dispositif géothermique

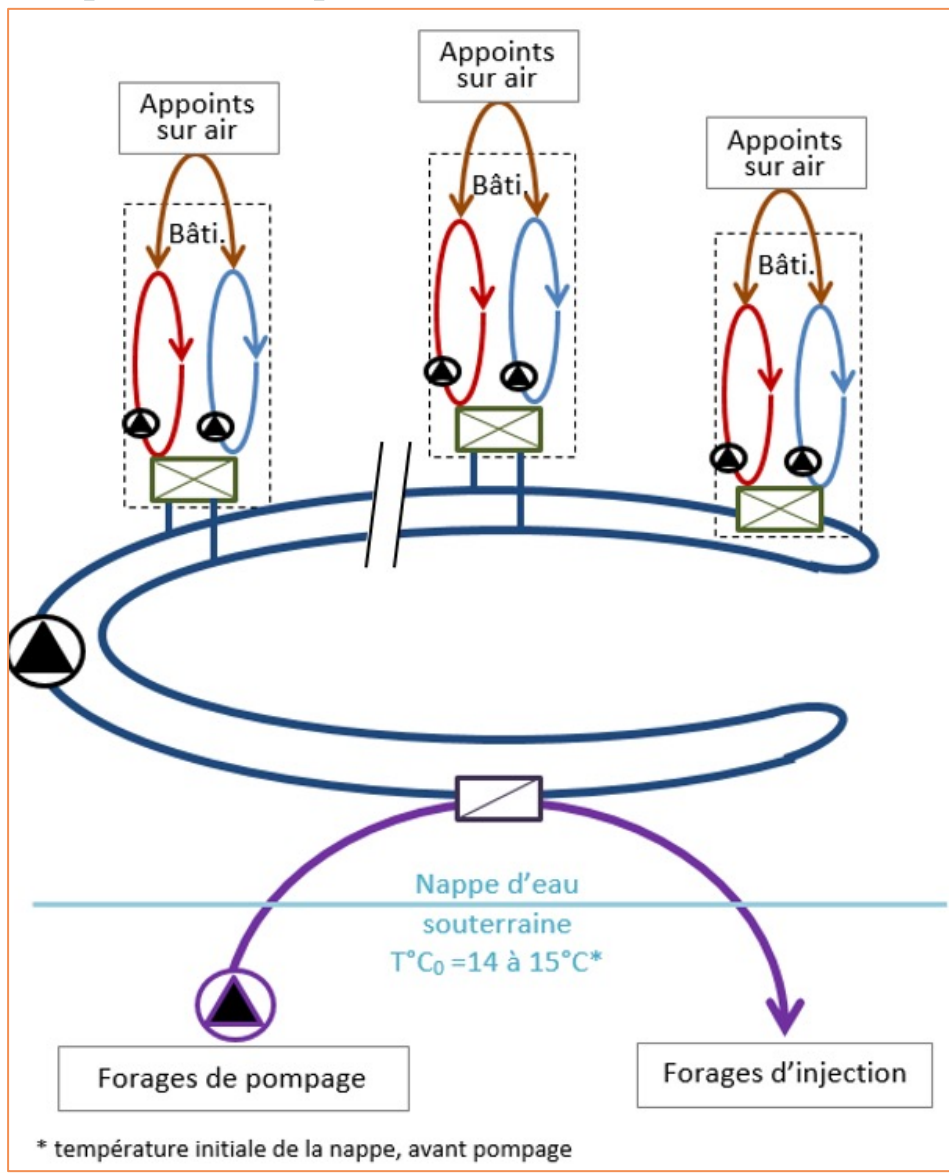
- Étude préalable comparative Nappe / SGV : 2016
 - 1^{ère} approche des besoins énergétiques
 - 1^{ères} modélisations sur nappe



→ Choix de la géothermie sur nappe
d'eau souterraine sur 4 bât. neufs
Soumis à autorisation code minier

Scénario	Géothermie sur nappe		Géothermie sur sondes
	Scénario 1 (Aquifère de la Craie – $Q_{max} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$)	Scénario 2 (GMI) (Aquifère de la Craie – $Q_{max} = 72 \text{ m}^3/\text{h}$)	SGV (GMI) (50 sondes de 200 m)
Energie produite chaud	1 658 MWh/an (88 % de E_{max})	1 194 MWh/an (64 % de E_{max})	690 MWh/an (37 % de E_{max})
Energie produite froid	843 MWh/an (51 % de E_{max})	473 MWh/an (29 % de E_{max})	470 MWh/an (29 % de E_{max})
Faisabilité technique	Investigations à réaliser : forage + piézos + pompages d'essai		Investigations à réaliser : sonde test + TRT
Réglementation code minier	Demande d'Autorisation	Déclaration	Déclaration

Principe de production énergétique



- Conception avec BARBANEL (BET-CVC)
- Limites de prestations – Allotissement :
 - Lot CVC : TFP et complément PAC-aéro, distributions et émetteurs
 - Lot VRD : l'ensemble des réseaux enterrés du lot A de la ZAC Papeteries.
 - Lot géothermie : boucle primaire et boucle tempérée

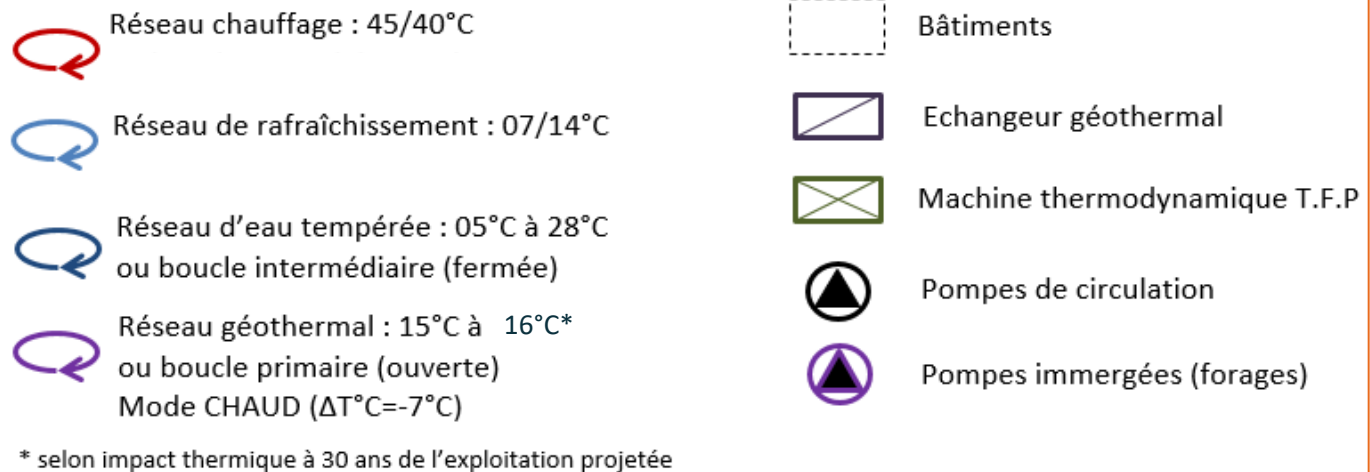
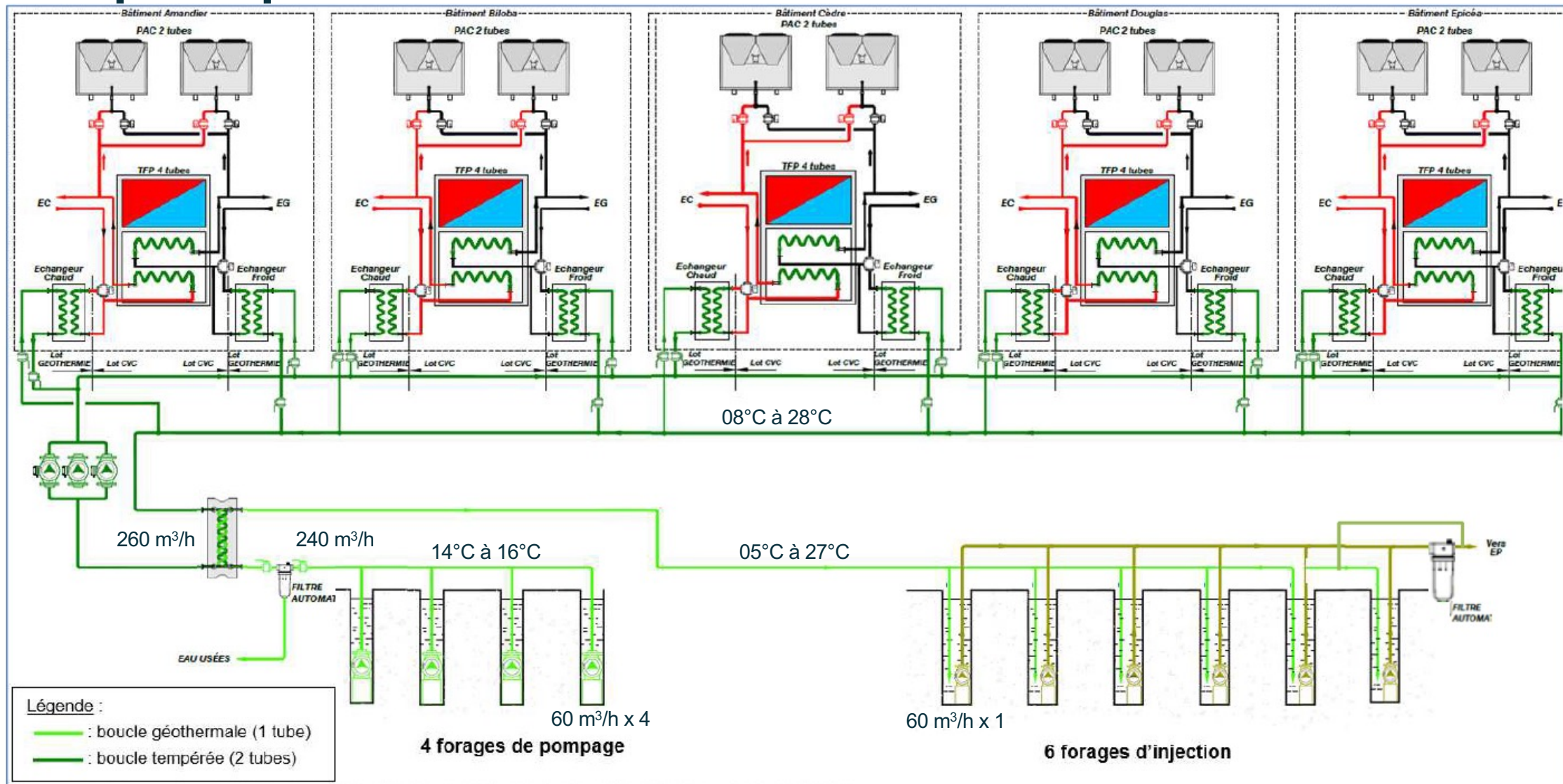


Schéma de principe

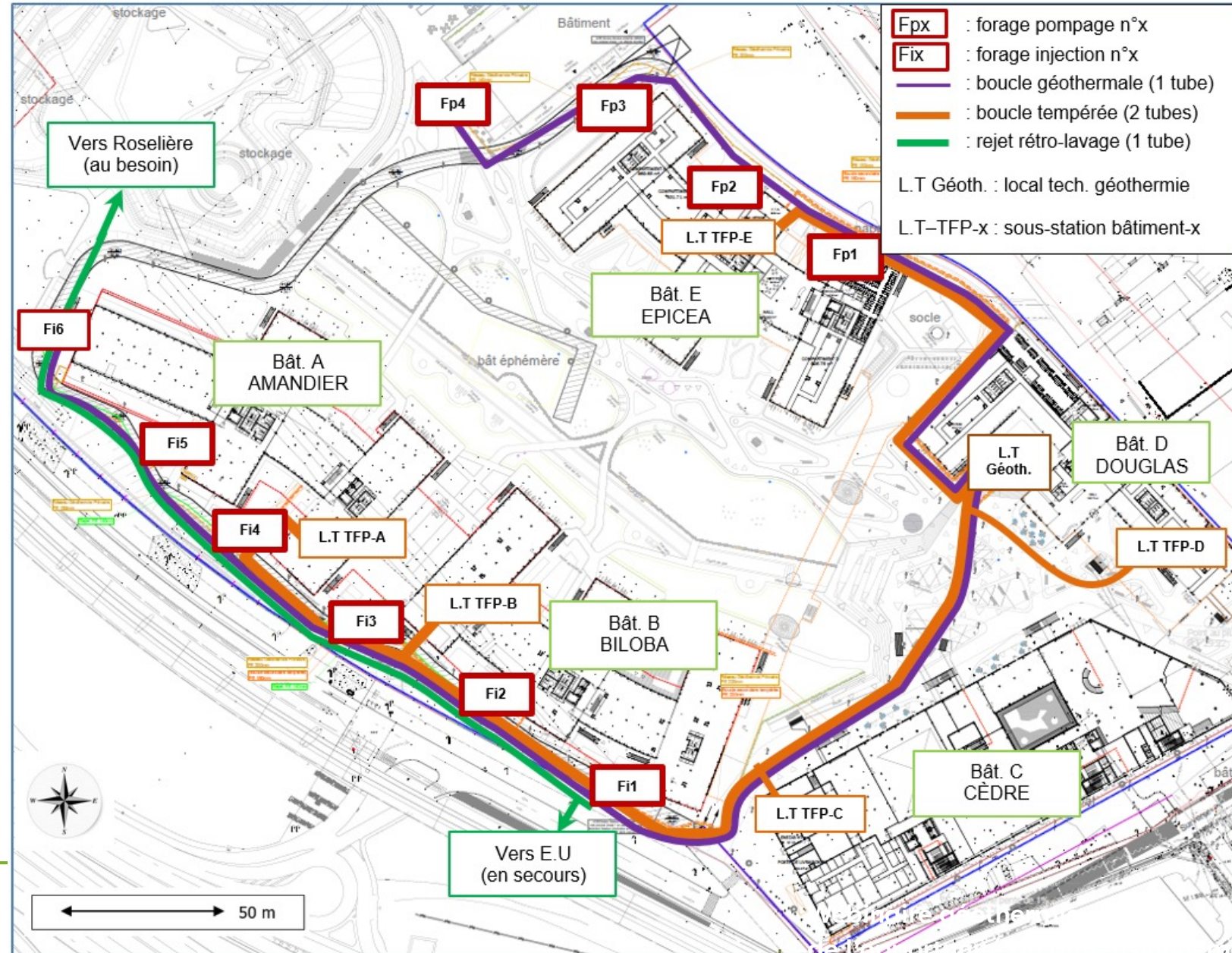
PAC aéro.	
CHAUD	FROID
2,4 MW	3,2 MW

TFP géoth.	
CHAUD	FROID
2,5 MW	2,3 MW



Source : fond de plan issu du fichier ARB_DCE_CVC_BAR_SCH_CD_GEN_TNX_404_01_0.pdf de BARBANEL

Schéma d'implantation



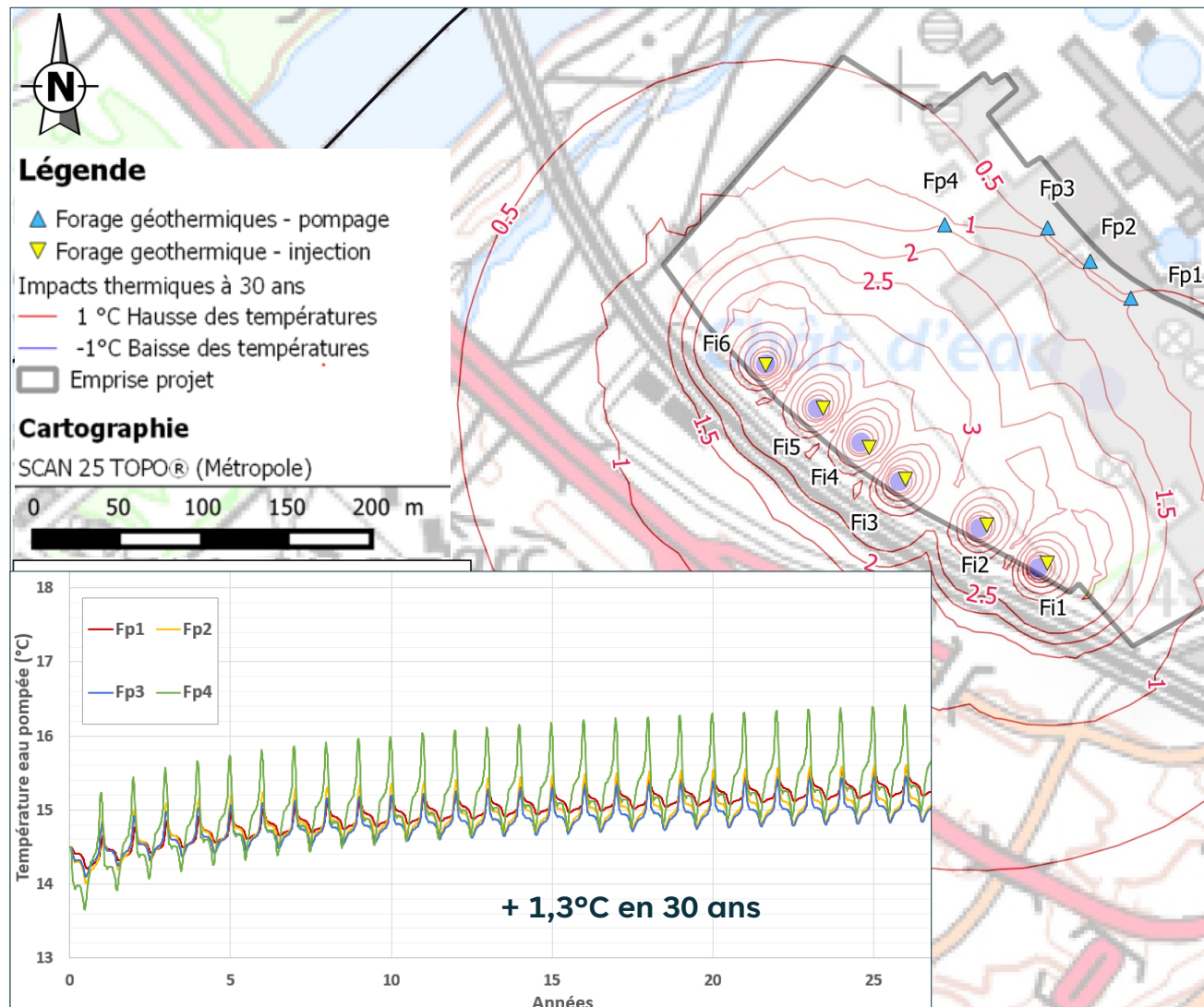
Modélisation

Rappel des besoins Bât. A, B, C, D, E (+ECS-RIE)	
CHAUD	FROID
3,5 MW	4,5 MW
1,8 GWh	2,6 GWh

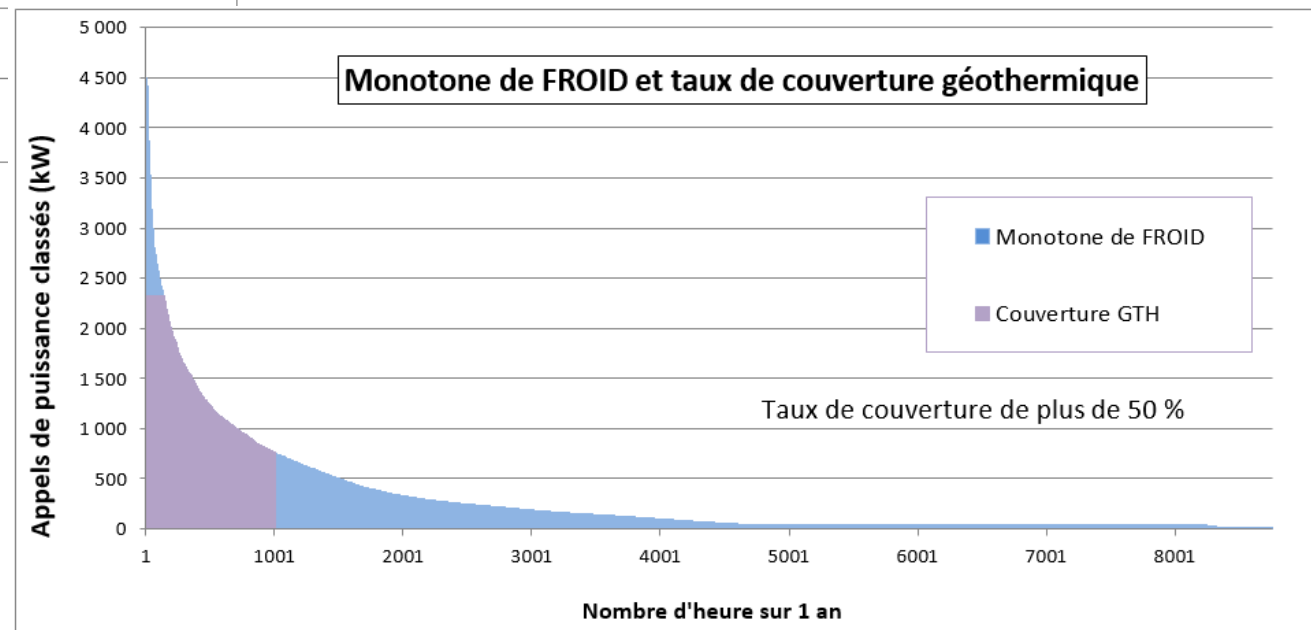
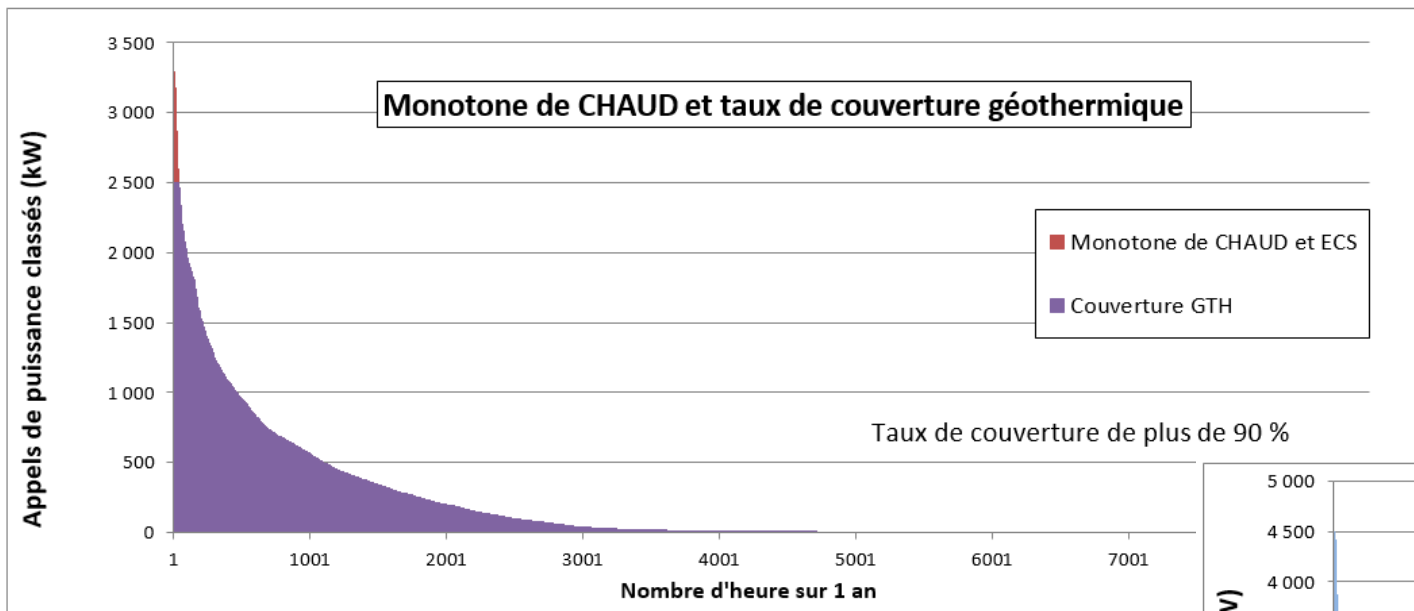
Production TFP géoth. (côté bât.)	
CHAUD	FROID
2,5 MW	2,3 MW
1,7 GWh	1,4 GWh

Sollicitation côté ressource

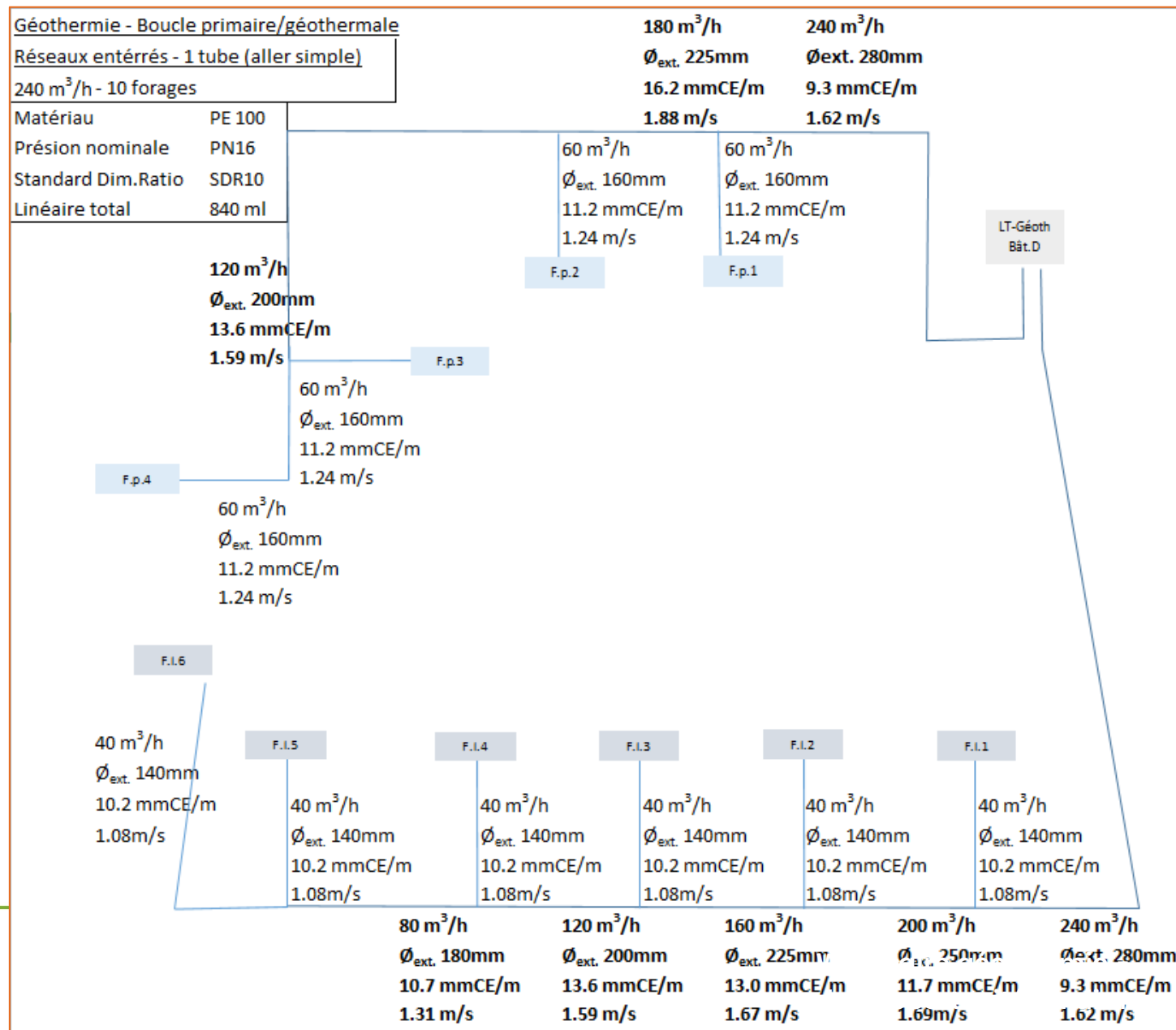
Ressource géothermique	Prélèvement de calories (pour prod.CHAUD côté Bat.)	Injection de calories (pour prod.FROID côté Bat.)
Débit de pointe	240 m ³ /h	
Température pompage	15°C à l'état initial, et jusqu'à 16°C après 30 ans d'exploitation	
Delta de température	7°C	9°C
Température injection	8°C	24°C en début d'exploitation à 26°C après 30 ans d'exploit.
Puissance de pointe (primaire)	2,4 MW	3,1 MW
Energie annuelle (primaire)	1,7 GWh	2,4 GWh



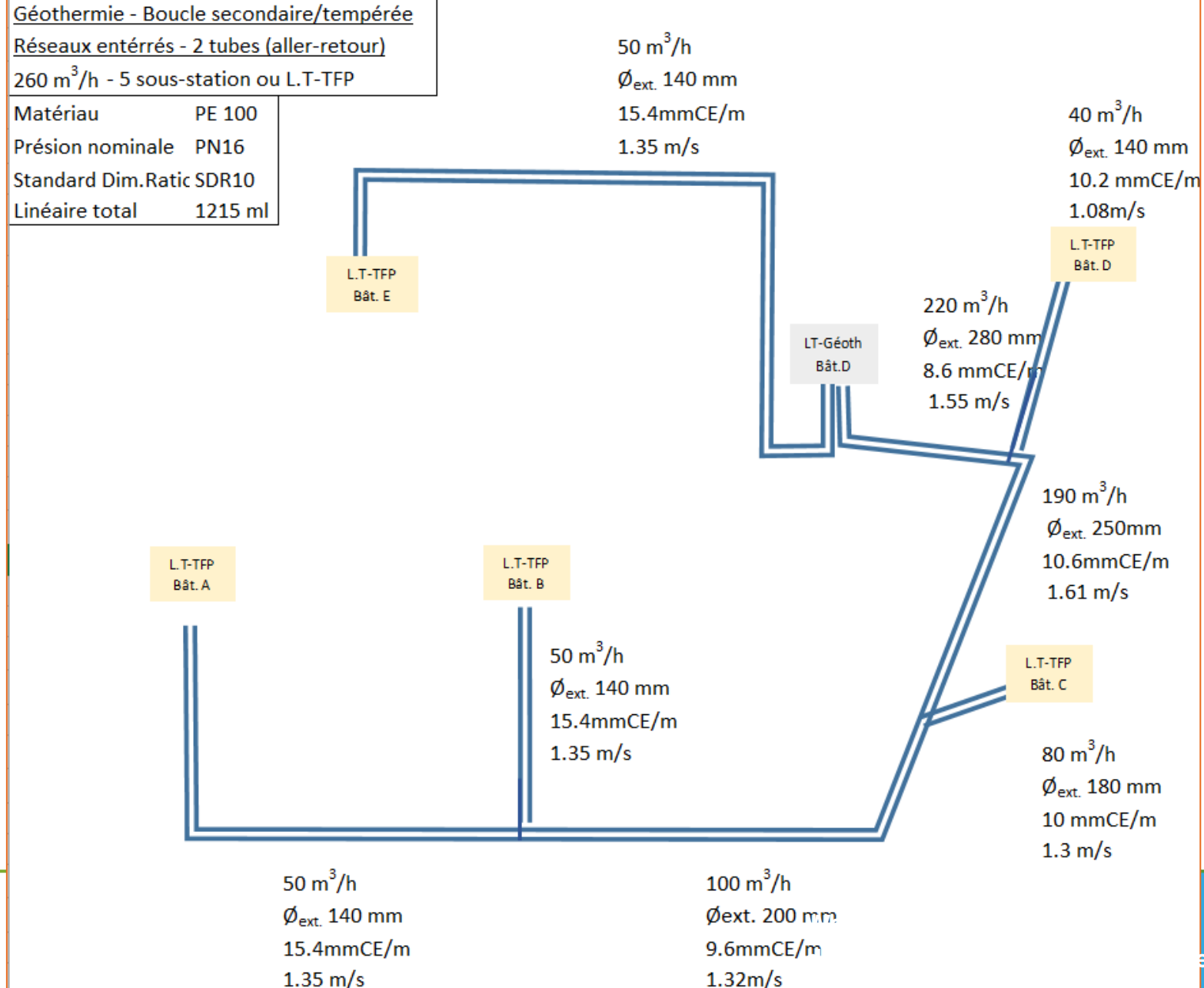
Taux de couverture énergétique



Dimensionnement de la boucle primaire géothermale



Dimensionnement de la boucle secondaire tempérée



Accompagnement administratif

- **Projet soumis à autorisation – Code minier**
 - Autorisation de recherche (A.R) de gîte géothermique ;
 - Autorisation d'ouverture de travaux miniers (A.O.T.M) visant un gîte géothermique ;
 - Permis d'exploitation (P.Ex.) du gîte géothermique.
- **AQUAPAC**
- **Fonds chaleur renouvelable (ADEME Idf, Région IdF)**

Évolution du dispositif de géothermie en 2021

– Demandes code minier de recherche et de travaux

• 2020

- 8 forages (3 pompages + 5 injections)
- Débits : 150 m³/h
- Usage :
 - » Production énergétique (modes chaud et froid) des bât. A,B,D,E
 - » Préchauffage ECS de la cantine commune (bât. C)
 - » Préchauffage ECS des deux bât. réhabilités (Atelier et Fabrique)

• 2021

- 10 forages (4 pompages + 6 injections)
- Débits : 240 m³/h
- Usage :
 - » Production énergétique (modes chaud et froid) des bât. A,B,D,E +C
 - » Préchauffage ECS de la cantine commune (bât. C)



Conclusion



Les principaux acteurs du projet de géothermie

Phases préalables		Conception	Chantier	Exploitation/Maintenance
Pertinence	Pré-études	Études	Réalisation/Installation	Vie de l'installation
Maître d'Ouvrage				
	Assistant à Maîtrise d'Ouvrage			
		Équipe de Maîtrise d'œuvre (comprenant un bureau d'études thermiques)		
			Entreprises	
	Bureau d'Etudes Surface			
	Bureau d'Etudes Sous-sol			
	Foreur		Foreur	
			Chauffagiste	
				Exploitant
				Prestataires
Votre Chargé.e de mission Multi-EnR et/ou votre Animateur.trice géothermie				