

La Géothermie sur le CHU IDN

Présentation IHF 04/04/2025



Patriarche.

edeis
L'Alliance Française

BUILDERS & PARTNERS
GRUPE VERICAL SEA

03/04/2025

1

Contexte

L'eau souterraine est le « vecteur » naturel de diffusion de la chaleur dans le sous-sol. De ce fait, le forage constitue le moyen technique le plus performant pour échanger de la chaleur avec le sous-sol.

L'énergie géothermique récupérable à partir d'une PAC sur aquifère est fonction de 2 paramètres :

- Le débit prélevé par le forage
- La différence de température entre l'eau prélevée et l'eau rejetée après passage de cette eau dans le circuit de la PAC

Les puissances thermiques des PAC sur nappe se calculent avec les formules suivantes :

Fonctionnement hiver (chauffage) avec COP de 3,5

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = \text{Puissance chaude (kW)} \times 0.7 / 1.16 \times \Delta T \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Fonctionnement été (rafraîchissement) avec COP de 3,5

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = \text{Puissance froide (kW)} \times 1.4 / 1.16 \times \Delta T \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Contexte

DOSSIER D'AUTORISATION AU TITRE DU CODE MINIER

Tout forage destiné à étudier le potentiel d'une nappe à des fins de géothermie ou à créer un doublet géothermique relève du Code minier. A noter que l'article L112-1 du code minier dispose que : « Relèvent du régime légal des mines les gîtes renfermés dans le sein de la terre dont on peut extraire de l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et des vapeurs souterraines qu'ils contiennent, dits "gîtes géothermiques" ». Dans ces conditions et conformément à l'article L.162-11 du Code minier (« Sous réserve des procédures spécifiques prévues par les dispositions législatives du présent code et les dispositions réglementaires prises pour leur application, les autorisations et déclarations prévues au présent titre valent respectivement autorisations et déclarations au titre de l'article L. 214-3 du code de l'environnement. »), ces forages ne relèvent pas de la loi sur l'eau et ne requièrent pas un dossier tel que prévu par le code de l'environnement.

Le projet de géothermie du CHU permettra d'extraire une puissance thermique supérieure à 2 MW. Ce projet sort alors des critères de minimales importances tels que édictés à l'article 3 du décret n°78-498 du 28 mars 1978. Il est alors soumis à une procédure d'autorisation au titre du Code Minier conformément aux articles 2 du décret n°78-498 du 28 mars 1978 et 3 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006.

La demande d'autorisation au titre du Code Minier inclut les demandes d'autorisation de permis d'exploiter et d'ouverture de travaux. Ces demandes peuvent être présentées dans un dossier unique conformément à l'article 9 du décret n°78-498 du 28 mars 1978.

Conformément aux articles 5 à 8 n°78-498 du 28 mars 1978 et 6 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006, le dossier unique de demande d'autorisation de permis d'exploiter et d'ouverture de travaux comprendra les pièces suivantes.

PIECE N°1 – PIÈCES ADMINISTRATIVES

- Cadre réglementaire ;
- Identification du demandeur ;
- Localisation du projet : extrait d'une carte officielle au 1/50000 maximum ;
- Durée du titre sollicité ;
- Capacités techniques et financières ;
- Le cas échéant, demande d'un périmètre de protection (limites et justifications de ce périmètre).

PIECE N°3 – ETUDE D'IMPACT

L'étude d'impact sera conforme à l'article R.122-5 du Code de l'Environnement. Pièce charnière des trois dossiers, les pièces constitutives de l'étude d'impact sont présentées au chapitre 2 du présent guide.

Elle intégrera les éléments relatifs :

- aux 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 ;
- à l'étude des incidences sur la ressource en eau du projet de géothermie aussi bien sur les plans qualitatif que quantitatif ;
- la compatibilité du projet au SDAGE Loire-Bretagne et au SAGE Estuaire de la Loire.

PIECE N°2 – DEMANDES D'AUTORISATION DE PERMIS D'EXPLOITER UN GITE GEOTHERMIQUE ET D'OUVERTURE DE TRAVAUX MINIERES

- Présentation du projet :
 - Débit calorifique pour lequel le titre est demandé ;
 - Volume d'exploitation sollicité ;
 - Programme et échelonnement des travaux et des perspectives d'utilisation des thermies extraites ;
 - Caractéristiques de l'horizon géologique concerné ;
 - Emplacement des forages à exploiter, pour ceux d'entre eux dont la localisation est déjà déterminée, ainsi que l'utilisation, la profondeur et les autres caractéristiques de ces forages, avec les documents, plans et coupes nécessaires et, lorsqu'il y a lieu, leur décomposition en tranches ;
- Conditions de l'arrêt des travaux ainsi que l'estimation de son coût ;
- Document de sécurité et de santé :
 - Moyens de protection mis en œuvre en phase travaux ;
 - Moyens de protection, de surveillance et d'intervention ;
 - Compatibilité des risques industriels du projet avec la sécurité publique.

Investigations préalables

Etude du potentiel Géothermique du site

Des reconnaissances ont été menées pour préciser le potentiel géothermique au droit du site. Les investigations suivantes ont été menées au début de l'année 2017 :

→ des forages d'eau au sein des alluvions de la Loire pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe

→ des pieux thermiques pour déterminer les capacités calorifiques du terrain

Les travaux de forages d'eau ont permis d'affiner la connaissance géologique des alluvions (nature et géométrie, profondeur du substratum, épaisseur des remblais sus-jacent) situées au droit du futur CHU.

L'objectif de cette reconnaissance était de recouper entièrement les alluvions de la Loire et une partie du socle granitique sous-jacent.

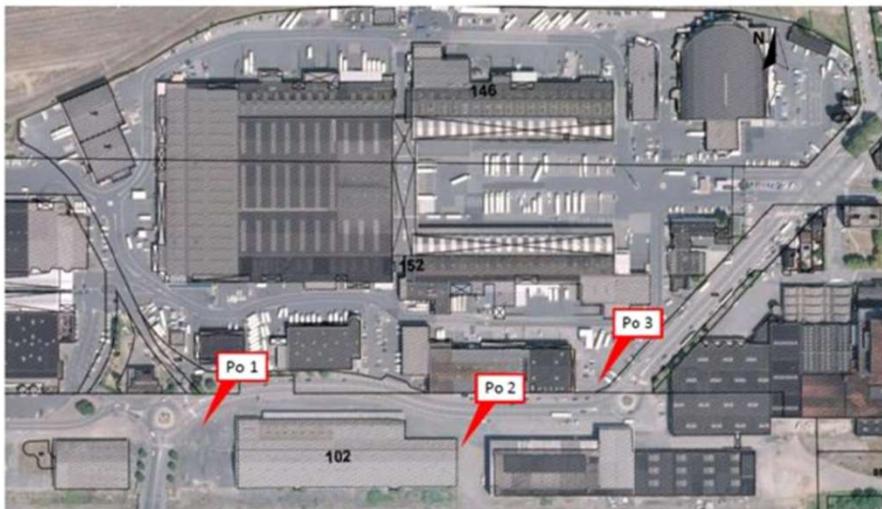
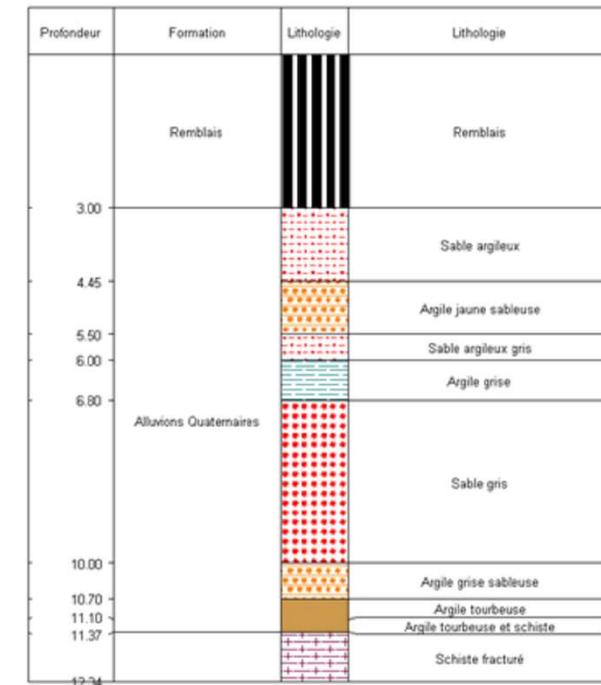


Fig. 4. Localisation des forages Po1, Po2 et Po3



Exemple coupe géologique au droit de l'île de Nantes

Investigations préalables

CAPACITE THERMIQUE DES ALLUVIONS

La connaissance des propriétés thermiques des alluvions a été possible grâce à la création de 4 pieux tests, similaires à ceux envisagés pour les fondations du futur bâtiment.

Des tests de réponse thermique (TRT) ont ainsi pu être menés sur chaque pieu pour mesurer la réponse thermique des terrains.

La position des ouvrages est présentée sur la Fig. 7.

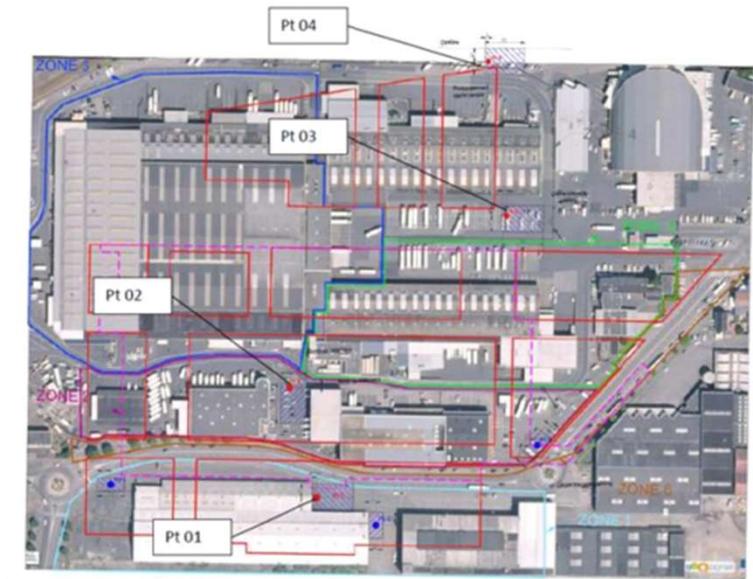


Fig. 7. Implantation des pieux sur le site

Les 4 pieux ont été réalisés en diamètre 1000 mm avec une profondeur variable suivant la zone d'implantation (critère d'ancrage de 3,0 m dans le socle).

Une cage d'armatures équipée de tubes géothermique (tubes en PEHD, DN25) a été introduite dans les puits de forage et descendue jusqu'à la profondeur désirée. Le forage a été rempli sur l'intégralité de la hauteur avec du béton.

CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE LA NAPPE ALLUVIALE

Un essai de pompage par paliers ainsi qu'un pompage de longue durée ont été réalisés sur chacun des forages de reconnaissance.

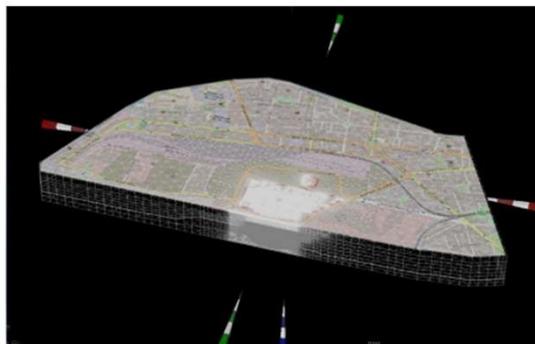
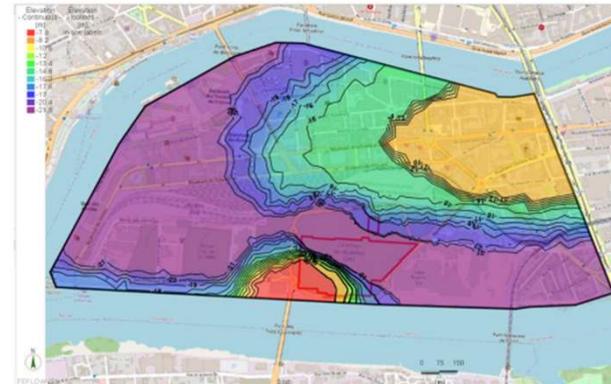
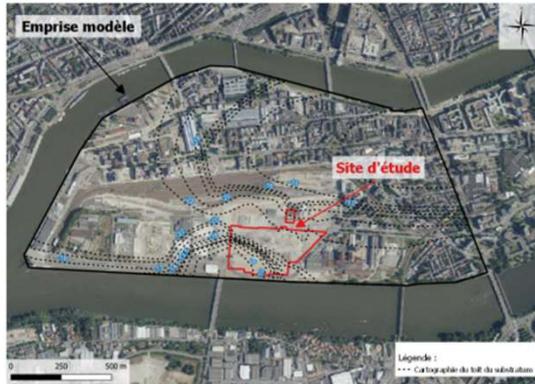
A partir de ces travaux, il a été possible de calculer les caractéristiques hydrodynamiques et aussi de vérifier les capacités de production de la nappe alluviale en déterminant des débits d'exploitation optimum.

QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE

	Po1	Po2	Po3
Température	~14,8 °C	~15 °C	~14 °C
Conductivité	~630 µS/cm	~580 µS/cm	~540 µS/cm
Sulfates	13 mg/l	< 2 mg/l	24 mg/l
Ferro-bactérie	Absence	Présence < 25	Absence
Nitrites (mg/l)	0,06	< 0,01	0,03
Nitrates (mg/l)	< 0,5	0,5	< 0,5
Azote ammoniacal (mg/l)	5	5,68	2,06
Titre alcalimétrique TA (°F)	< 0,5	< 0,5	< 0,5
TAC (°F)	23,4	26,9	23,8
Chlorures (mg/l)	60	42	33
Phosphates (mg/l)	0,75	< 0,05	0,34
Calcium (mg/l)	99	82	73
Magnésium (mg/l)	16	16	16
Potassium (mg/l)	4,8	3,8	5,1
Sodium (mg/l)	21	17	23

Les analyses physico-chimiques montrent une compatibilité des eaux avec l'utilisation géothermique, pour les paramètres analysés. Toutefois la présence de ferro-bactéries sur Po2 peut s'avérer problématique pour l'exploitation. Des précautions particulières devront être prises sur l'équipement des ouvrages afin de limiter les entrées d'air (notamment pose de brides étanches sur les têtes).

Création d'un modèle hydrogéologique : Structure du modèle

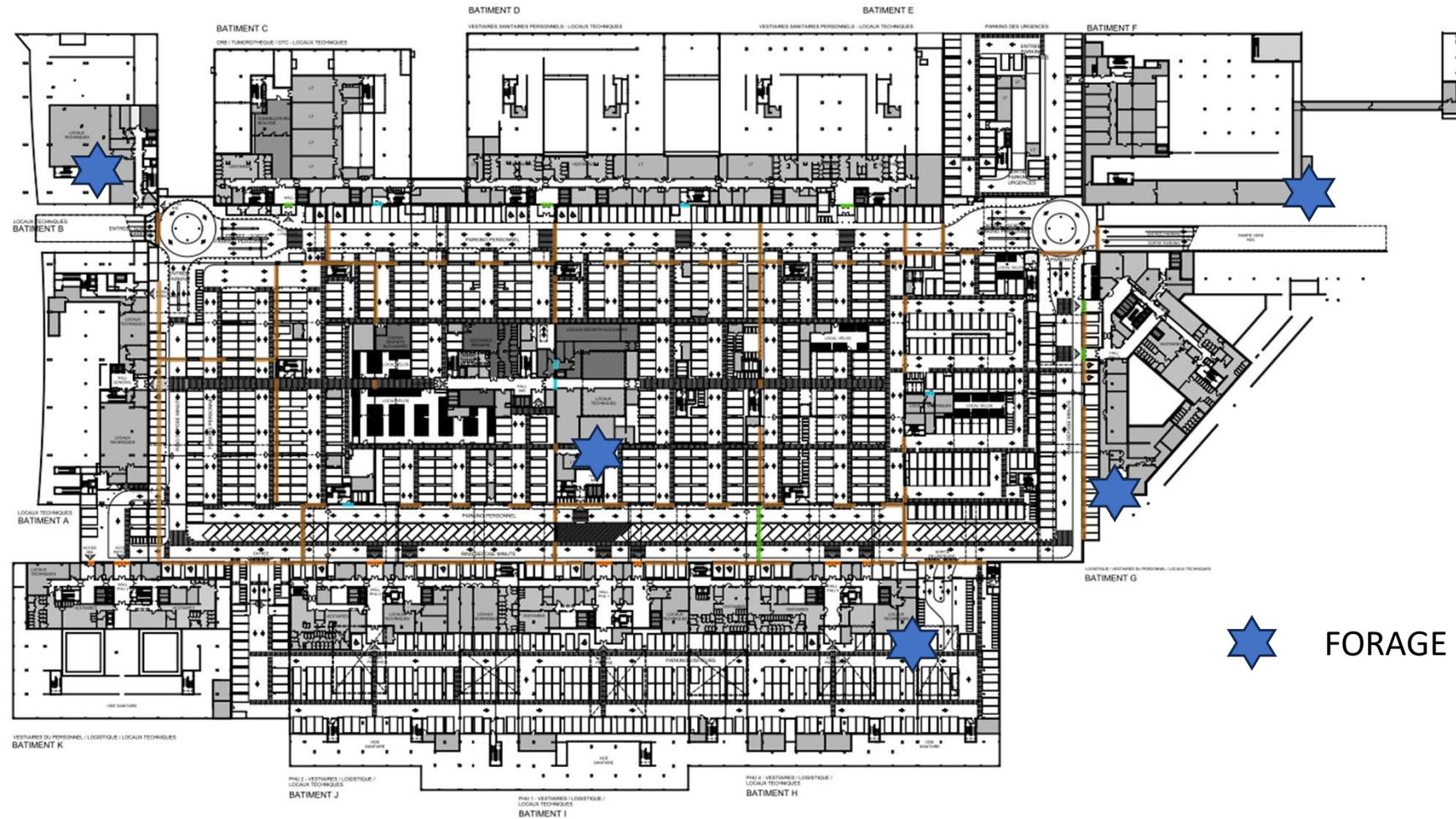


La partie Ouest de l'île de Nantes à été modélisée jusqu'au substratum imperméable dont la topographie a été intégrée au modèle.

L'ensemble des ses études permettent d'obtenir :

- Les profondeurs des forages à réaliser ainsi que les hauteurs de rabattements admissibles
- Les débits nominaux mobilisables par puits

Présentation du projet



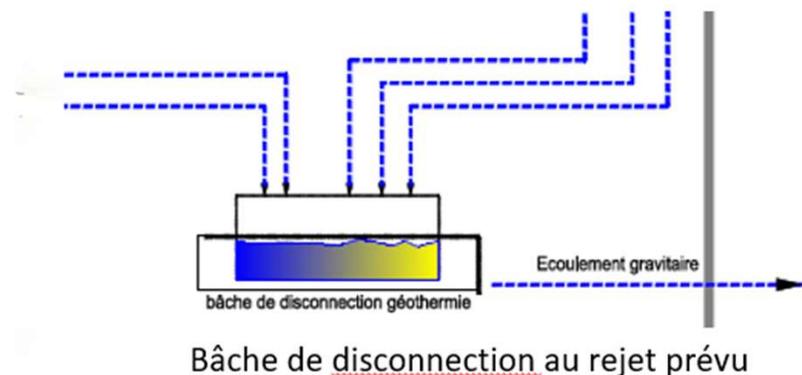
- 5 forages
- Les débits nominaux mobilisables par puits est estimé à stade à 50m³/h [valeurs théoriques à consolider avec des essais lors des forages]
- Autorisation de rejet de 250m³/h suivant permis minier

Présentation du projet

1.10.3. MODALITES DE REJET

L'ensemble des eaux de nappe seront déversées vers une bache de disconnexion (cuve diamètre 2 m/hauteur 4 m) puis ensuite rejetées en Loire. Un compteur volumétrique permettra de connaître précisément les volumes rejetés.

Utilisation des eaux de Géothermie en circuit fermé. →



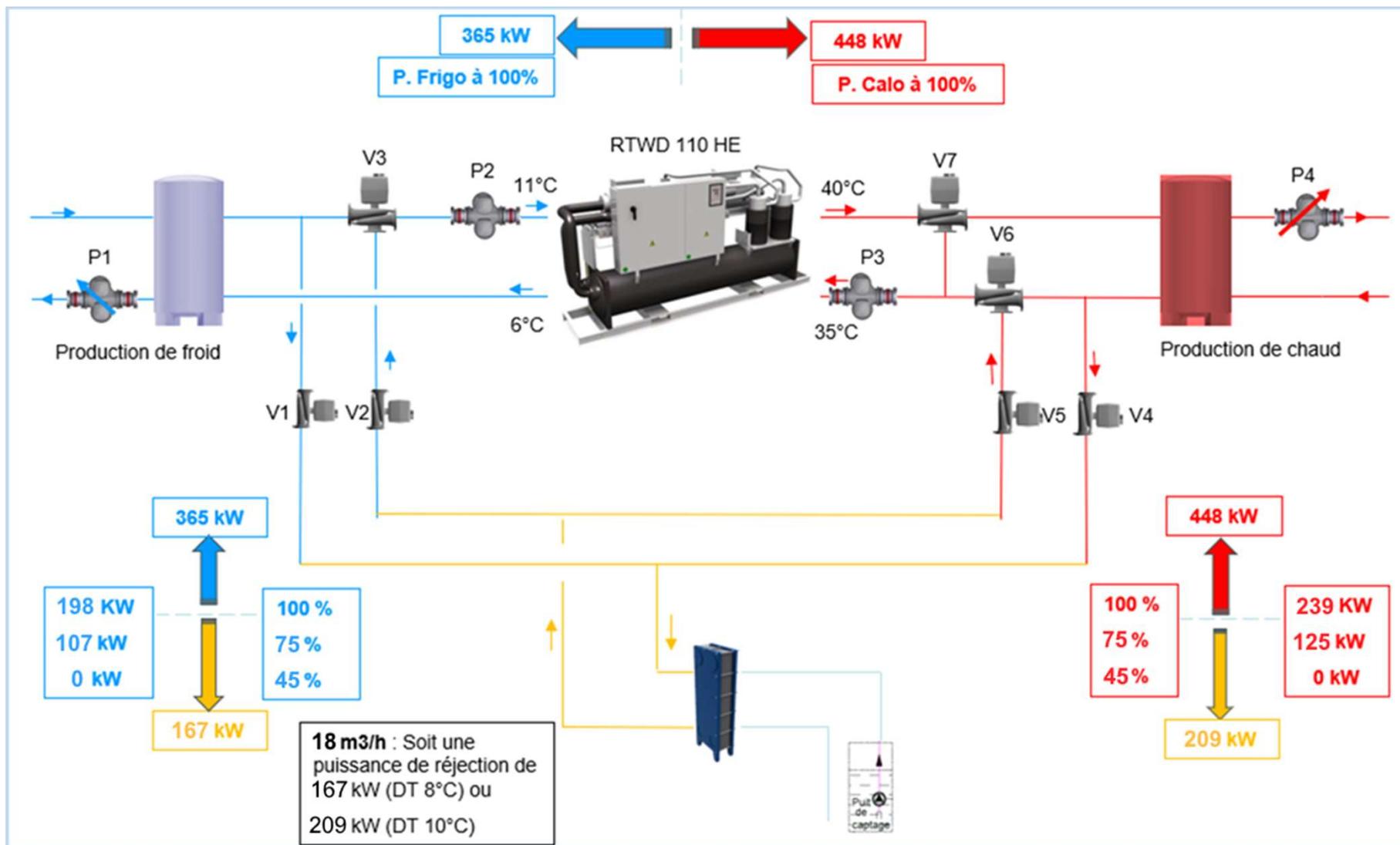
- être équipé d'un débitmètre,
- respecter les valeurs limites suivantes :

Paramètres mesurés sur l'effluent brut	Concentration maximale du rejet (mg/l)
DCO ₍₁₎ : Demande chimique en oxygène	125
DBO _{5 (1)} : Demande biologique en oxygène à 5 jours	30
MES : Matières en suspension	35
Indice Hydrocarbures (Norme NF T90-202)	5
Température	30
pH	Entre 5,5 et 8,5

(1) mesuré sur l'effluent brut.

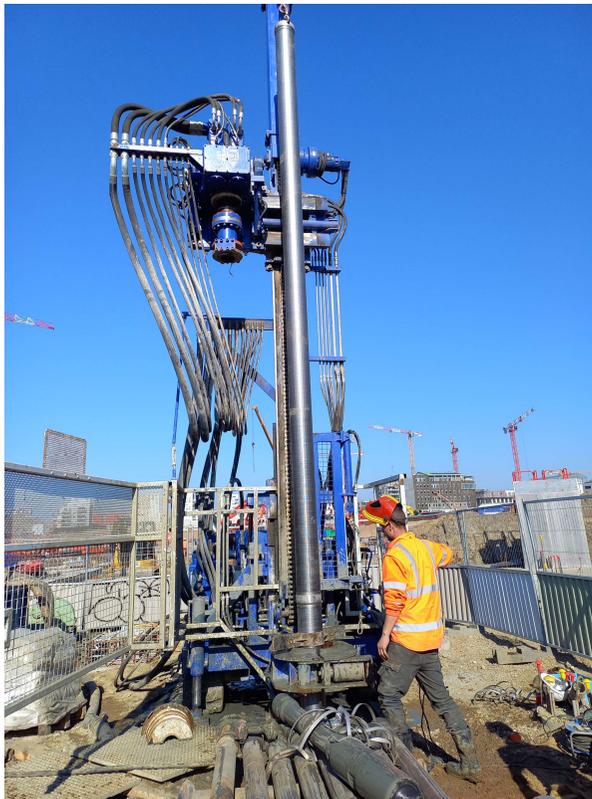
Le rejet des eaux dans un réseau public et en Loire impose des contraintes d'exploitation

Présentation du projet

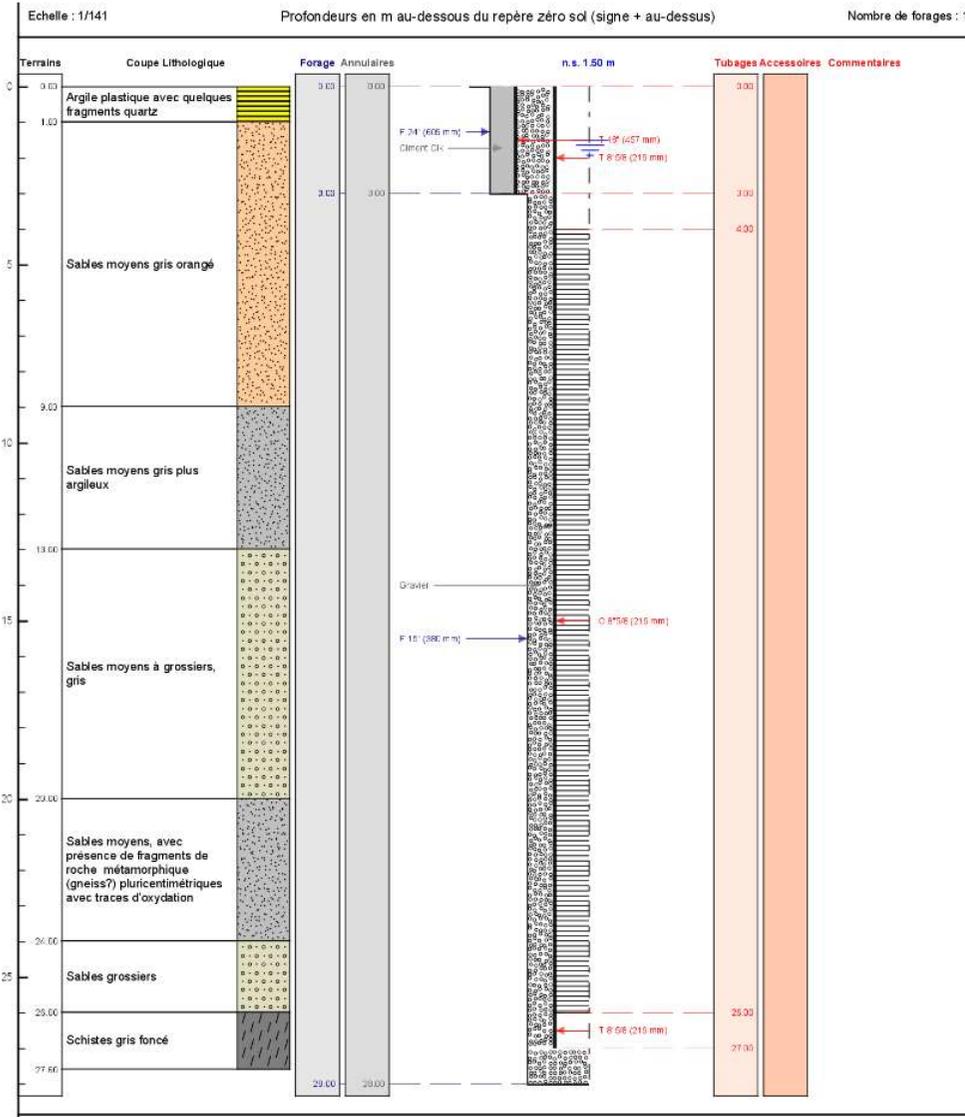


Méthodologie des Travaux de forage

- Foration jusqu'au toit du socle métamorphique
- Mise en place colonne captante (crépine) pour capter la nappe alluviale
- Nettoyage du forage pour éliminer les résidus de forage
- Développement du forage (=augmentation de sa productivité) – développement chimique et mécanique
- Micromoulinet (répartition des venues d'eau sur la verticale)
- Pompage d'essai (caractéristiques du puits, débit de production, caractéristiques de la nappe)
- Une fois les 5 forages réalisés → **essai en simultané** avec les 5 puits

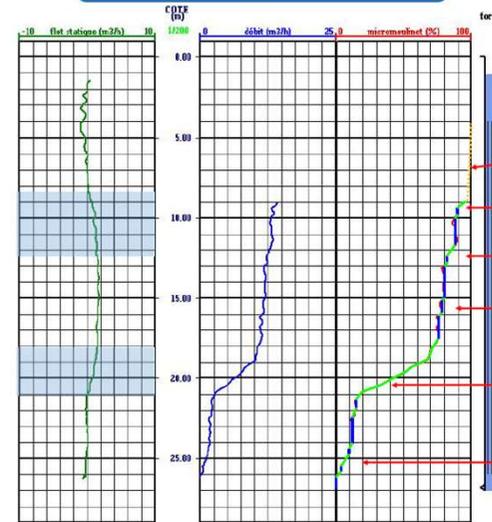


Confirmation des caractéristiques d'un puit



2. MICROMOULINET

Sur le graphique ci-dessous, les zones productives sont représentées en vert, les zones improductives sont représentées en bleu.



MICROMOULINET STATIQUE

La mesure micromoulinet montre que l'on a une faible circulation montante. L'eau entre dans le forage entre 18 et 21 m puis ressort entre 8.5 et 12.5 m.

MICROMOULINET DYNAMIQUE

Pour la mesure, SANFOR a installé une pompe de 6" vers 5m, elle débitait environ 15 m³/h. Le niveau statique a été mesuré à 1.30 m, le niveau dynamique était vers 3.60 m à la fin de la mesure. La mesure micromoulinet montre que le forage donne de l'eau sur un intervalle allant de 9.00 m à 22.50 m.

De 4.00 m à 9.00 m : 5% de la production. Cet intervalle est déduit des calculs réalisés dans la zone investiguée.

De 9.00 m à 10.00 m : 7% de la production.

De 11.80 m à 13.10 m : 8% de la production.

De 15.00 m à 16.10 m : 5% de la production.

De 17.60 m à 22.50 m : 64% de la production.

De 24.00 m à 25.30 m : 11% de la production.

- Essai au micromoulinet → 14,6 m productifs répartis sur toute la hauteur crépinées mais c'est la base qui donne le plus (75% entre 17,6 et 25,30 m)

Confirmation des caractéristiques d'un puit

