



# Mise en place de PAC géothermique sur aquifère superficiel

# Sommaire

- 1-Description générale de l'opération
- 2-Rex sur le doublet de l'Agora
- 3-Modélisation et bilan énergétique
- 4-Cadre réglementaire
- 5-Contexte hydrogéologique
- 6-Conclusions

# 1- Description générale de l'opération

# Description générale de l'opération



- Étudier le potentiel géothermique du site de la Milétrie :
  - Réserve énergétique présente au droit du projet PRC2
  - à une plus large échelle au droit du CHU
  - Etude 180 k€TTC, aide ADEME plafonné à 70k€ ( 70% de 100k€ max) si étude selon CCTP ADEME et qualification entreprise

*Localisation du projet*



## 2- Rex sur le doublet de l'Agora

# Diagnostic sur le Forage F1



→ Ouvrage en bon état structurel avec épaisseur de dépôt estimée à 6 mètres

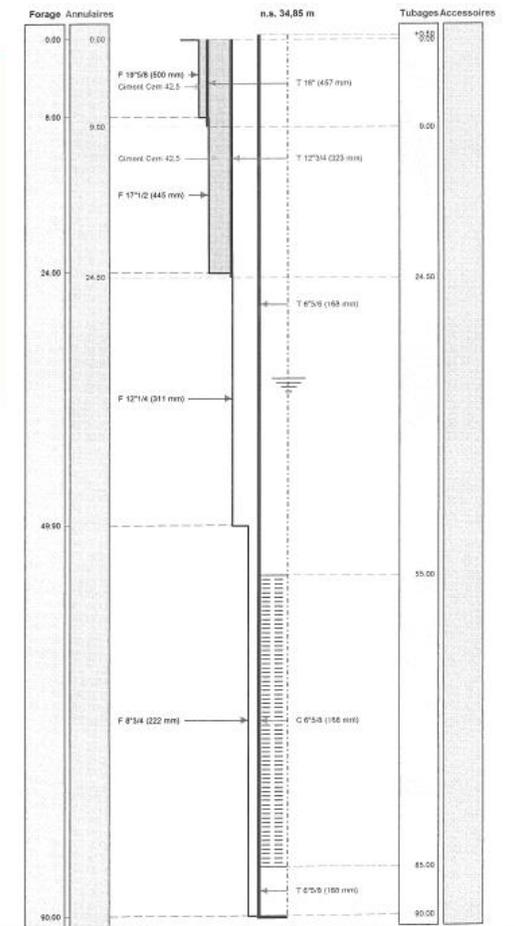
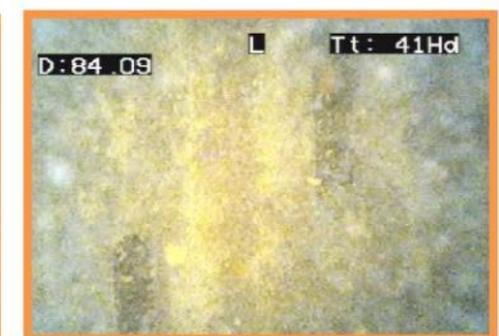


Figure V.3.1 : Coupe définitive du forage de prélèvement F1 (source : Forages Massé)



# Diagnostic sur le Forage F1

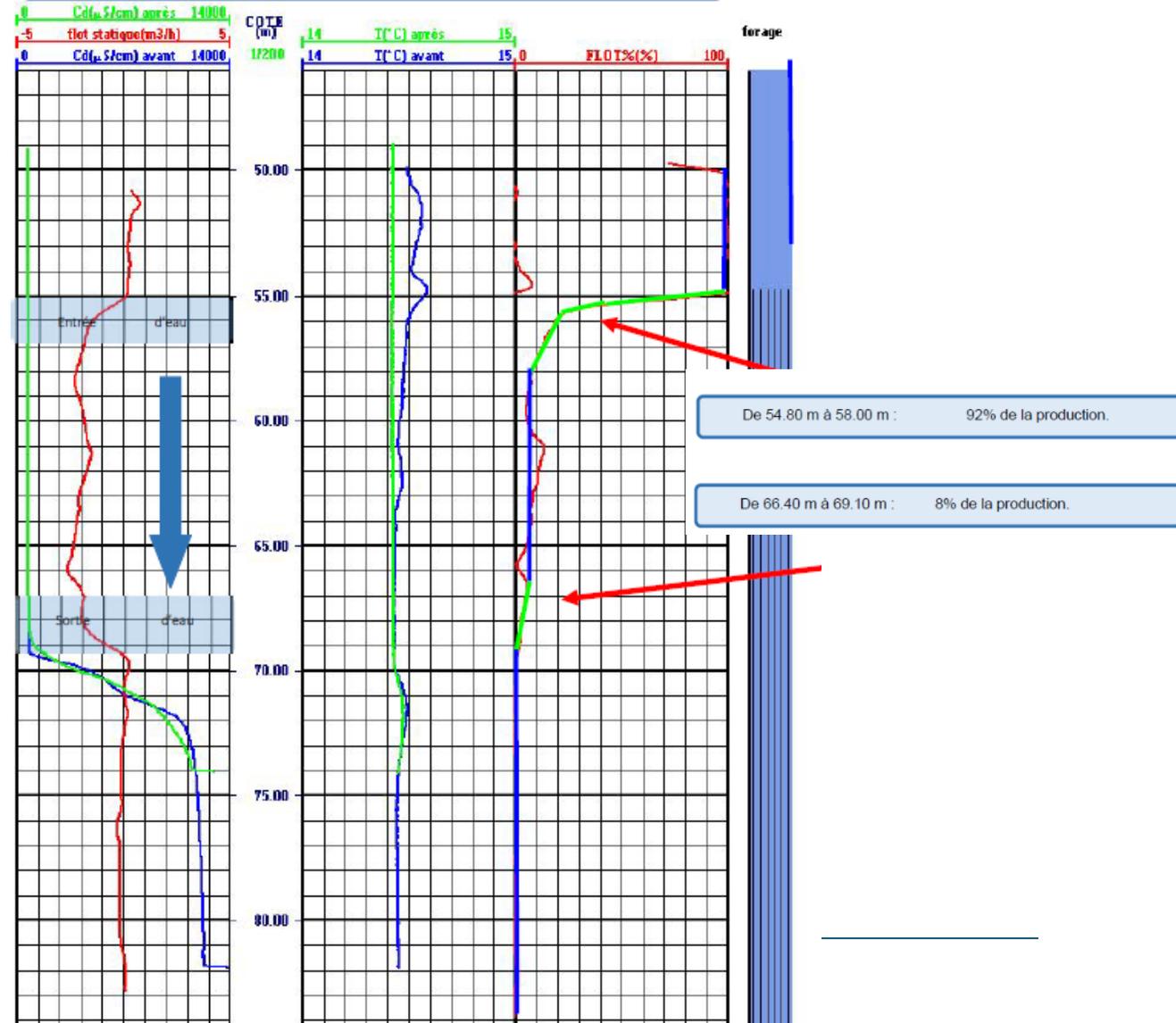
## - Diagraphies flux

92% de la production du forage se situe en tête des crépines (entre 55 et 58 m de profondeur)

Les 8% restant se situent entre 66 et 69 m

Peu ou pas de renouvellement en dessous de 69 m ce qui explique le manque de netteté à l'inspection caméra

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

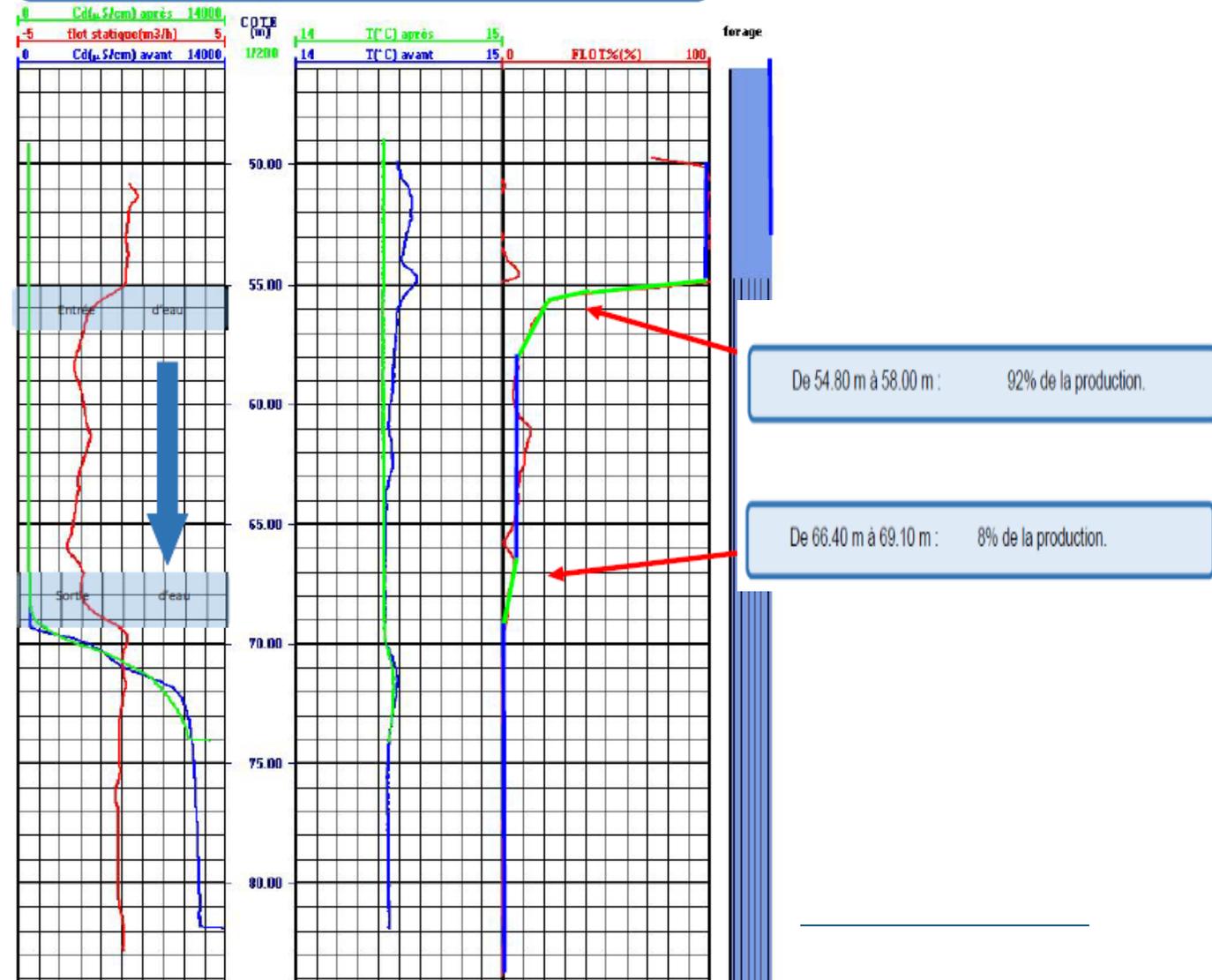


# Diagnostic sur le Forage F1

## - Diagraphies température/conductivité

Température moyenne de 14,4°C/ pas de changement par rapport à la création du forage  
→ *Température de 14°C/14,4°C mesurée à la création du forage (Source: rapport ERM)*

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



# Diagnostic sur le Forage AGORA

- D'après la norme NFX 10-999, les contrôles et mesures périodiques à effectuer sur un doublet géothermique sont:



Dépouillement des données enregistrées en continu sur l'année sur le forage de prélèvement et de réinjection (débit, température, niveau piézométrique) avec tracer des courbes débit-rabattement et débit-réinjection



Vérification du ou des filtres/ contrôle de la présence de dépôts dans le filtre



Vérification de la perte de charge de l'échangeur placé entre le forage et la PAC



Vérification du bon fonctionnement de la pompe et réalisation d'inspections endoscopiques du forage à minima tous les 10 ans

# Audit de l'installation géothermique

## Pistes d'optimisations de l'installation sur le site de l'Agora :

--> En l'état, l'exploitation de l'installation de l'Agora peut être optimisée en modulant le débit de la pompe en fonction des besoins. 2 optimisations possibles :

- **Réduire le débit jusqu'au mini technique** des pompes puits et primaire PAC en période de chauffage
- **Arrêter complètement les installations en mi saison (avril/mai et septembre)**
- Soulager la nappe hydrauliquement en lissant les appels de puissance et en arrêtant le forage en l'absence de besoin (si arrêt > 1 semaine, prévoir de vérifier régulièrement les filtres le jours suivants le redémarrage)

# 3- Modélisation et bilan énergétique

# Chronologie

- Réaliser la faisabilité si possible 1 an avant le programme technique pour minimiser la prise de risque.

# Modélisation et bilan énergétique

## Analyse Projet PRC2

✓ Le projet d'extension du Pôle Régional de Cancérologie de Poitiers est soumis à l'arrêté du 28 décembre 2012 (RT 2012).

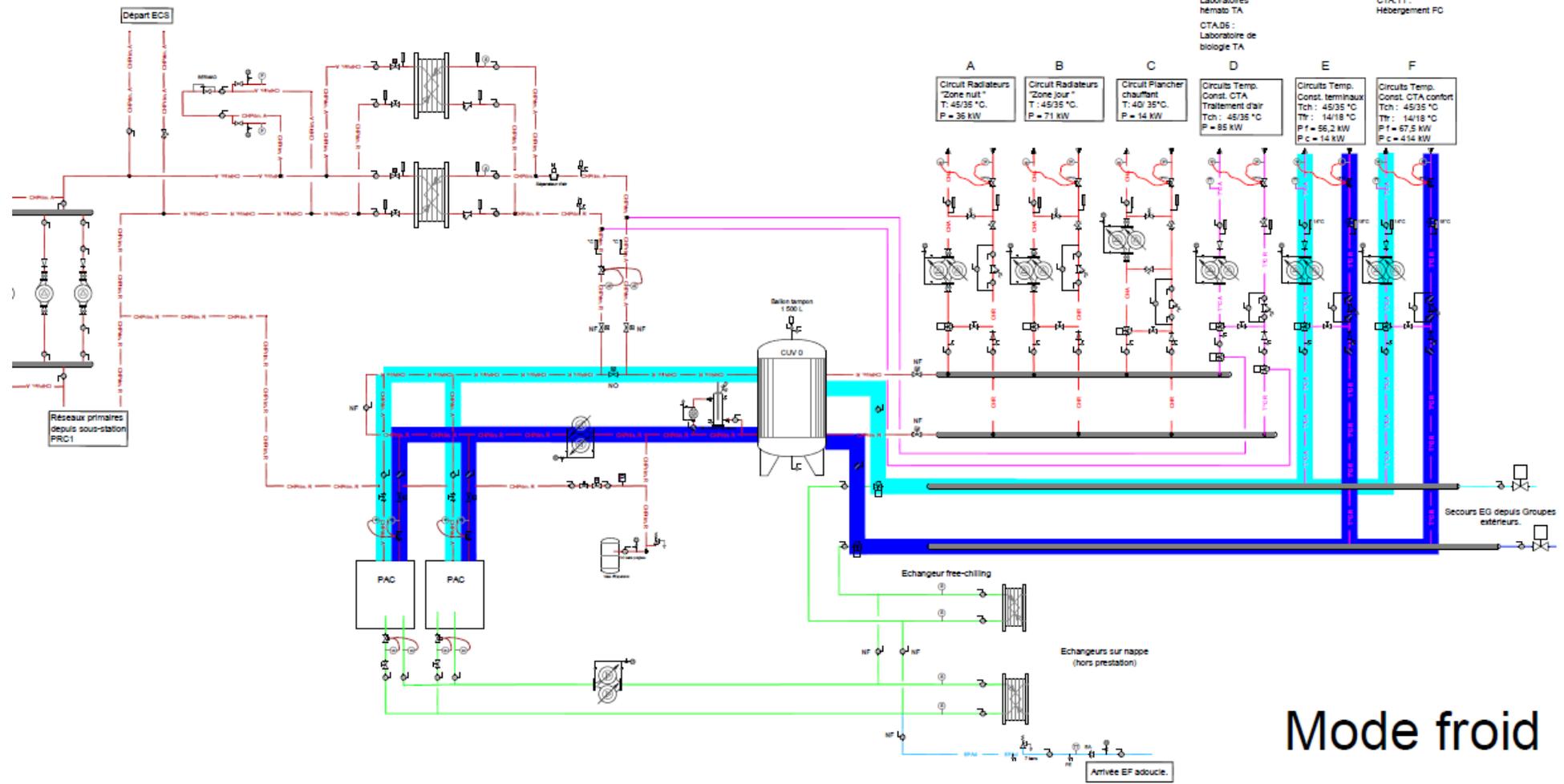


# Modélisation et bilan énergétique

## Analyse Projet PRC2

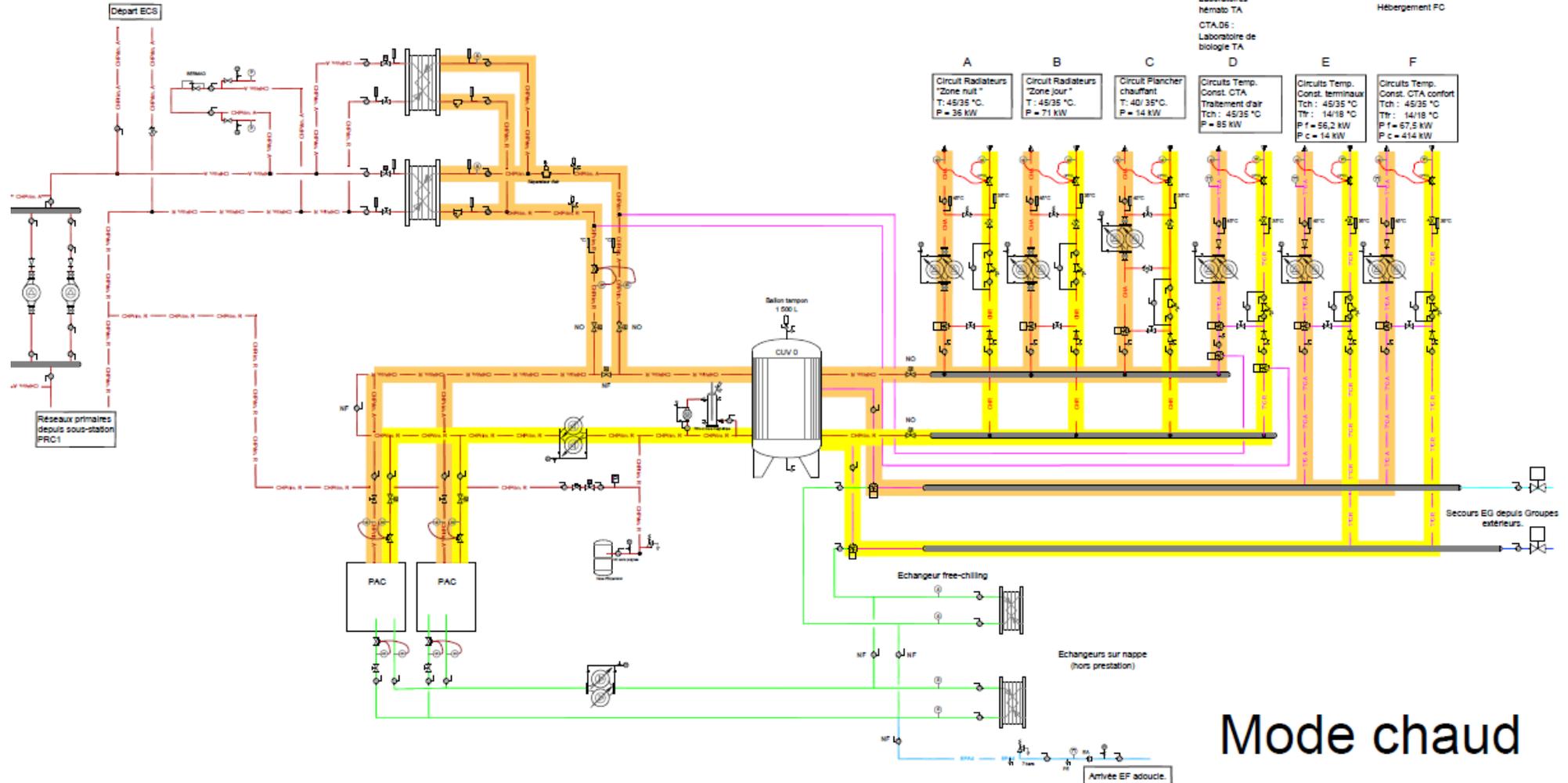
- ✓ La production ECS sera produite directement par le réseau de chaleur. Ce dernier est prévu en relève des PAC géothermique en assurant l'appoint et secours.
- ✓ Tous les équipements sont doublés pour fiabiliser la disponibilité du chauffage et de la climatisation / rafraîchissement.
- ✓ Les régimes d'eau prévus sur les circuits chauffage et CTA avec des retours à 35°C sont compatibles pour obtenir les meilleurs rendements sur les PAC.
- ⚠ Attention au volume du ballon de stockage si ajout du PRC1 : 3 m<sup>3</sup> en chaud et 2 m<sup>3</sup> en froid pour éviter des courts cycles sur des compresseurs vis (talon à 50% de puissance)

- CTA.D1 : Salles d'examen médecine nucléaire TA
- CTA.D2 : Laboratoires Qualité SAS/Circulation TA
- CTA.D3 : Laboratoire prépa radiopharmaceutiques TA
- CTA.D4 : Laboratoire culture cellulaire TA
- CTA.D5 : Laboratoires hématologie TA
- CTA.D6 : Laboratoire de biologie TA
- CTA.D7 : Annexes médecine nucléaire FC
- CTA.D8 : Tertiaire FC
- CTA.D9 : Consultations/Hôpital de jour FC
- CTA.D10 : Admission/Accueil FC
- CTA.D11 : Hébergement FC



A	B	C	D	E	F
Circuit Radiateurs "Zone nuit"	Circuit Radiateurs "Zone jour"	Circuit Plancher chauffant	Circuits Temp. Const. CTA Traitement d'air	Circuits Temp. Const. Terminioux	Circuits Temp. Const. CTA confort
T: 45/35 °C P = 36 kW	T: 45/35 °C P = 71 kW	T: 40/ 35°C P = 14 kW	Tch: 45/35 °C P = 85 kW	Tch: 14/18 °C P f = 56,2 kW P c = 14 kW	Tch: 14/18 °C P f = 67,5 kW P c = 414 kW

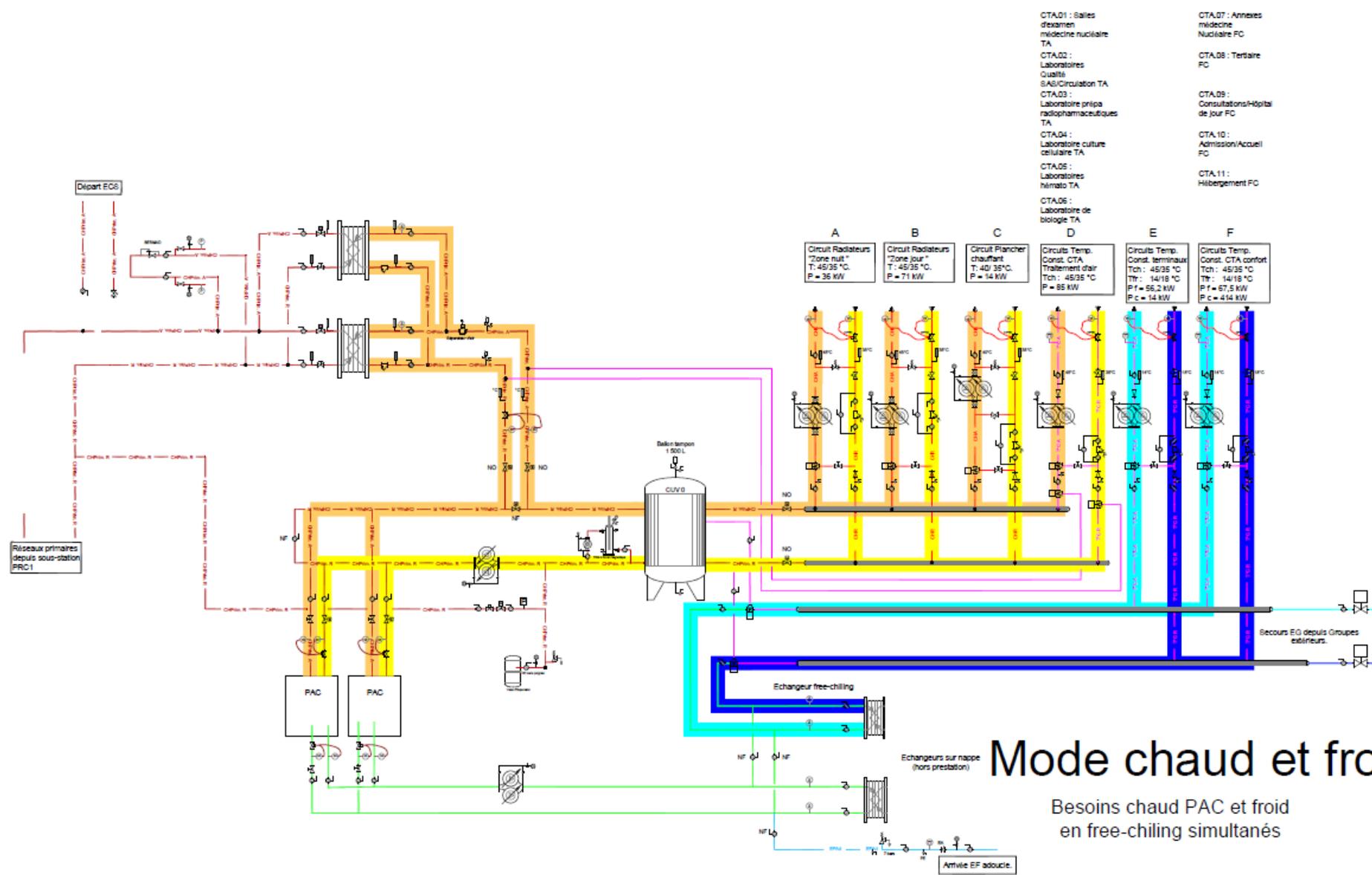
# Mode froid



- CTA.01 : Salles d'examen médecine nucléaire TA
- CTA.02 : Laboratoires Qualité SAS/Circulation TA
- CTA.03 : Laboratoire prépa radiopharmaceutiques TA
- CTA.04 : Laboratoire culture cellulaire TA
- CTA.05 : Laboratoires hématologie TA
- CTA.06 : Laboratoire de biologie TA
- CTA.07 : Annexes médecine Nucléaire FC
- CTA.08 : Tertiaire FC
- CTA.09 : Consultations/Hôpital de jour FC
- CTA.10 : Admissions/Accueil FC
- CTA.11 : Hébergement FC

A	B	C	D	E	F
Circuit Radiateurs "Zone nuit"	Circuit Radiateurs "Zone jour"	Circuit Plancher chauffant	Circuits Temp. Const. CTA Traitement d'air	Circuits Temp. Const. terminaux	Circuits Temp. Const. CTA confort
T: 45/35 °C P = 35 kW	T: 45/35 °C P = 71 kW	T: 40/35 °C P = 14 kW	Tch: 45/35 °C Tch: 14/18 °C P = 85 kW	Tch: 45/35 °C Tch: 14/18 °C P F = 56,2 kW P C = 14 kW	Tch: 45/35 °C Tch: 14/18 °C P F = 57,5 kW P C = 41,4 kW

# Mode chaud



**Mode chaud et froid**  
 Besoins chaud PAC et froid en free-chilling simultanés

# Modélisation et bilan énergétique

## Bilan des besoins chaud du PRC2 + PRC1

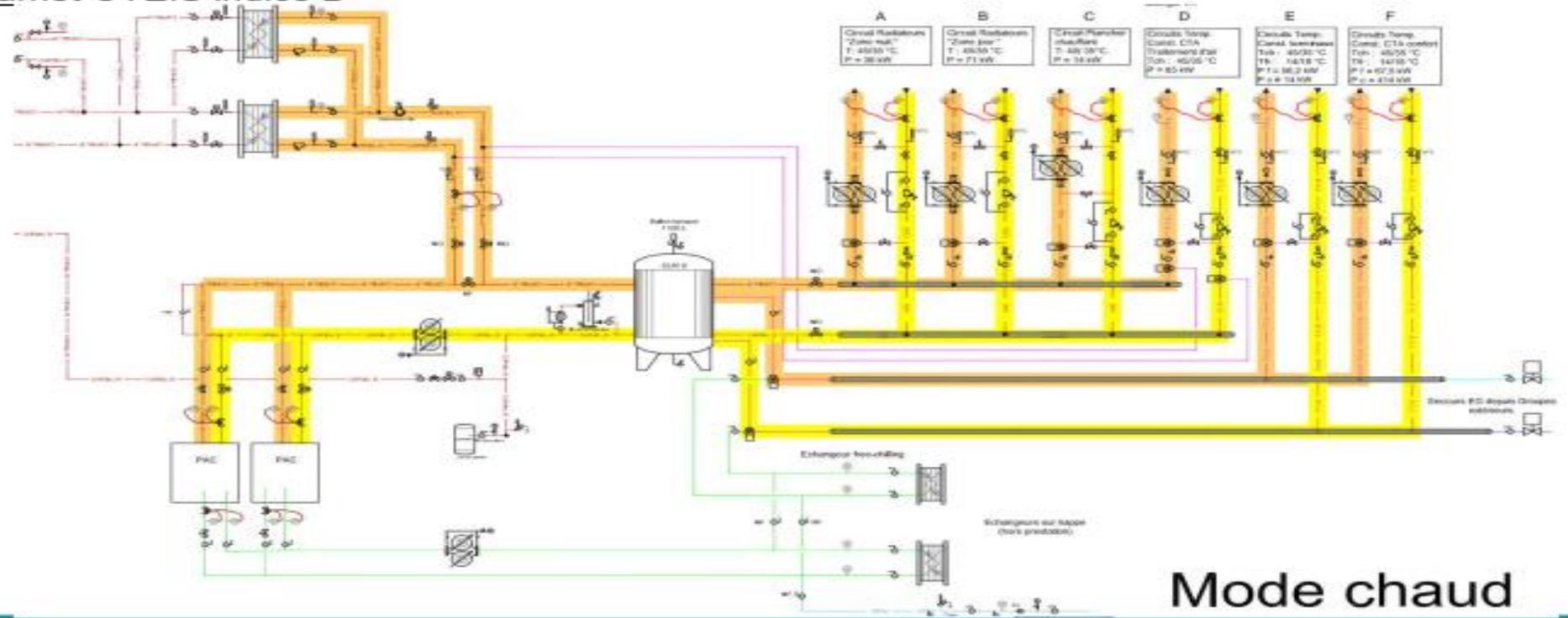
<b>Bilan des besoins chaud</b>	<b>TOTAL</b>	<b>PRC2</b>	<b>PRC1</b>
Surface brute (m <sup>2</sup> )	21 531	10 069	11 462
Puissance installée ou estimée (kW)	1 416	266	1 150
<b>Consos</b>			
Conso Chauffage (MWh sst)	2 078	486	1 592
Conso ECS (MWh sst)	-	-	-
<b>Conso Totales (MWh sst)</b>	<b>2 078</b>	<b>486</b>	<b>1 592</b>
<b>Puissances appellées max</b>			
PA_ch (kW)	1 211	266	945
PA_ECS (kW)	-	-	-
<b>PA Totale max (kW)</b>	<b>1 211</b>	<b>266</b>	<b>945</b>
Ratio surfacique conso chauffage (kWh/m <sup>2</sup> )	97	48	139
Ratio surfacique puissance (kW/m <sup>2</sup> )	56	26	82

# Modélisation et bilan énergétique

## Modélisation des besoins chaud PRC2

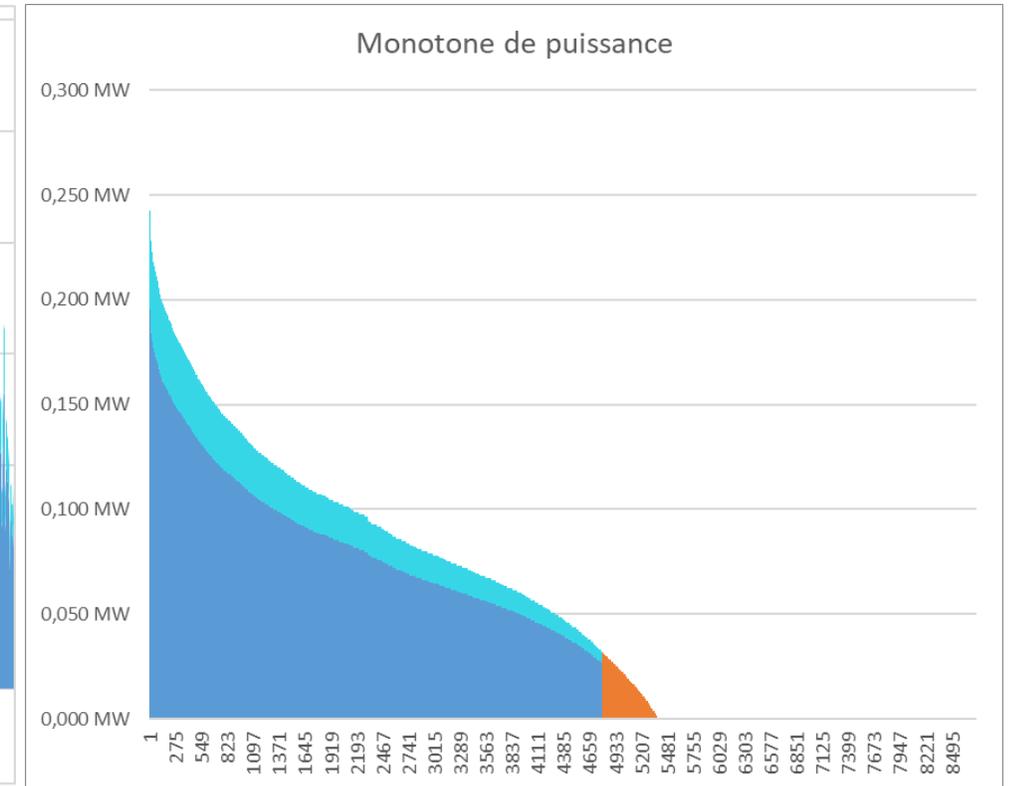
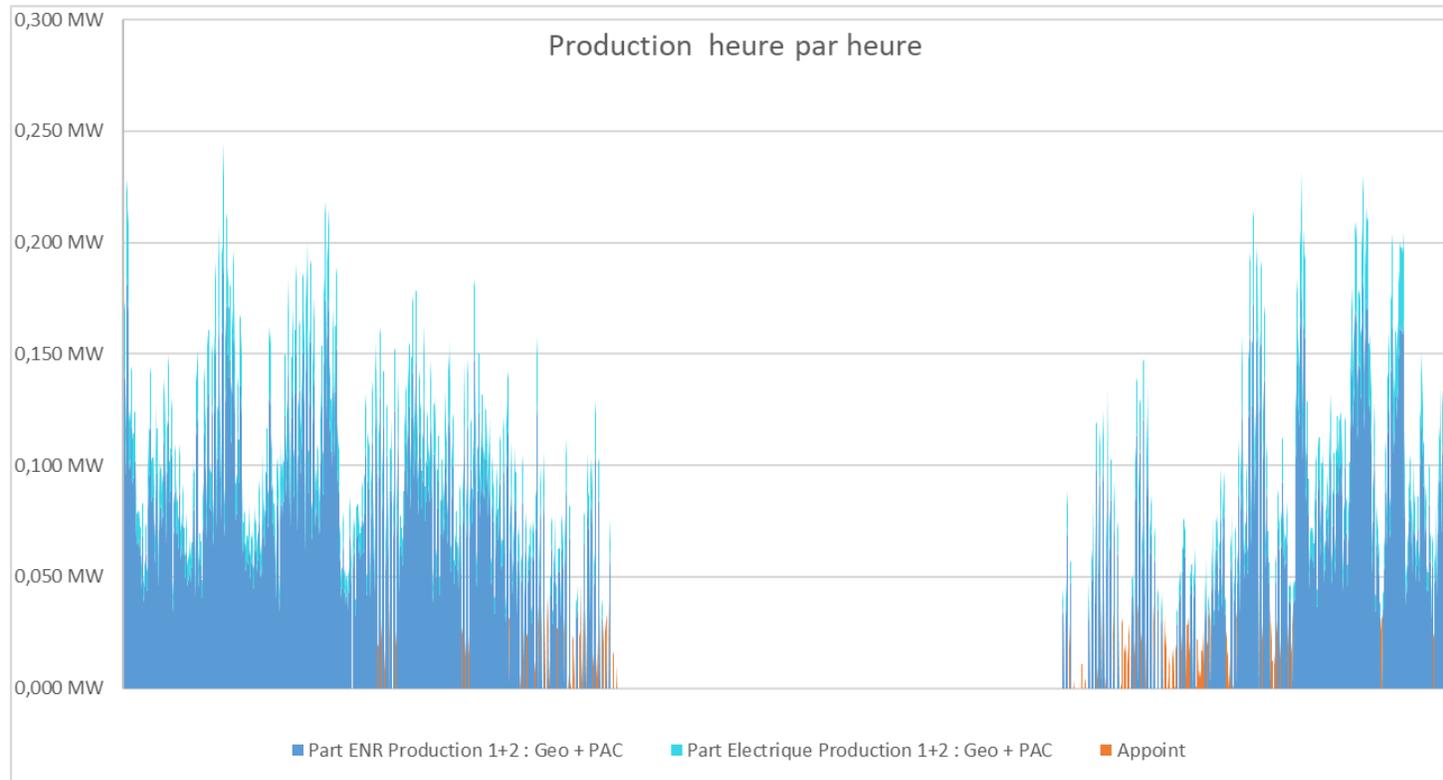
La période prise en compte est : 15 octobre au 15 mai

Extrait folio 5 carnet OTEIS indice D

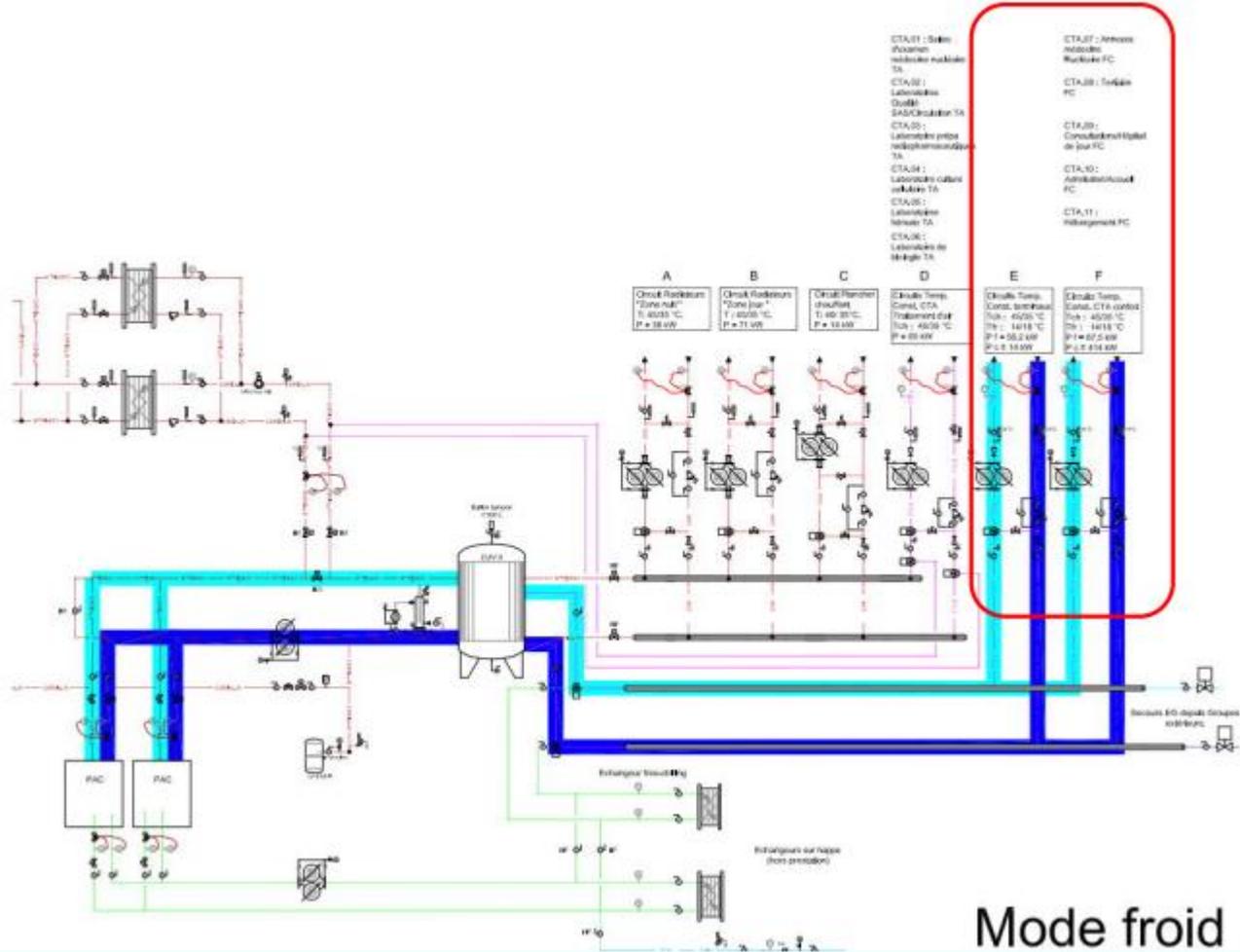


# Modélisation et bilan énergétique

## Modélisation des besoins chaud PRC2



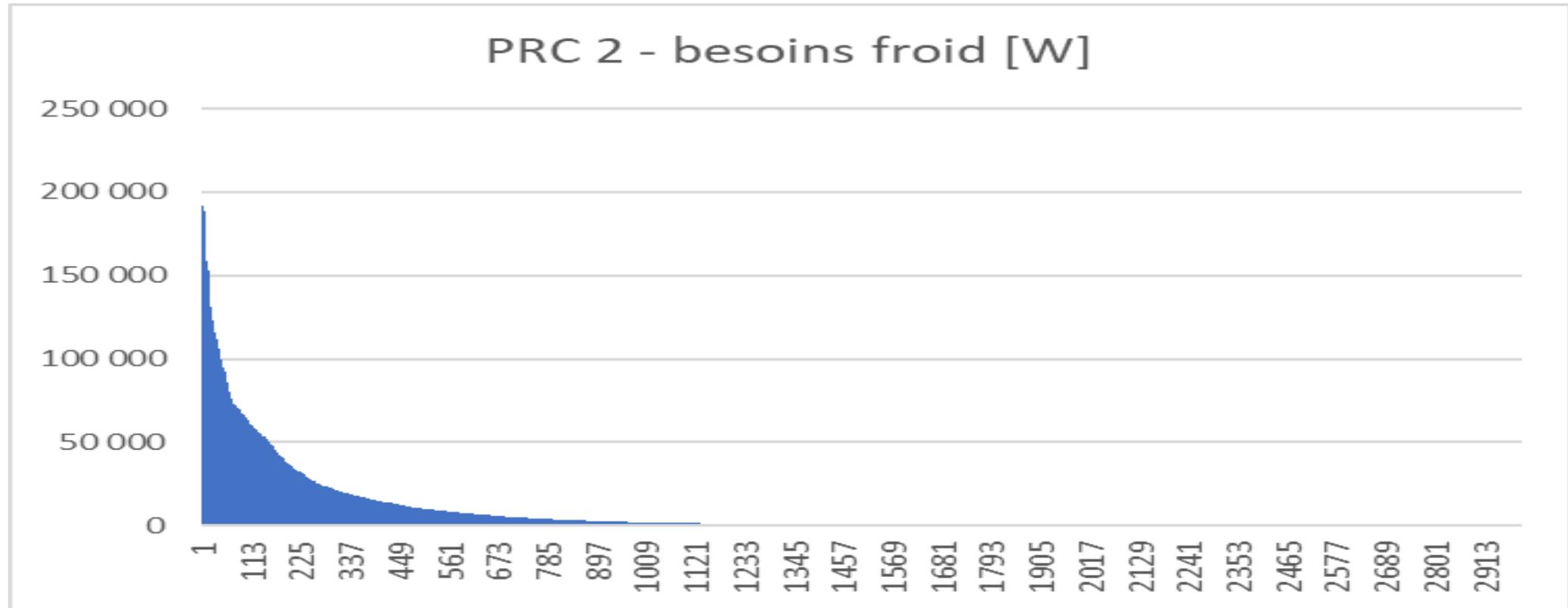
# Modélisation et bilan énergétique



La période prise en compte est: 15 mai au 15 octobre

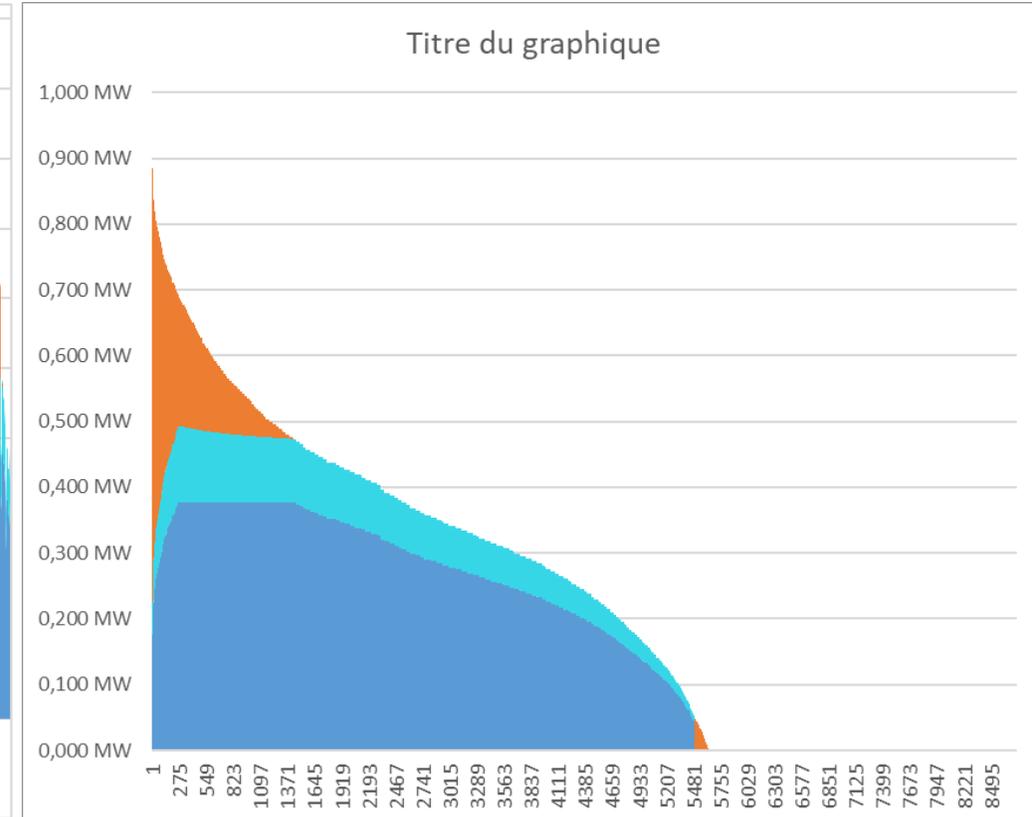
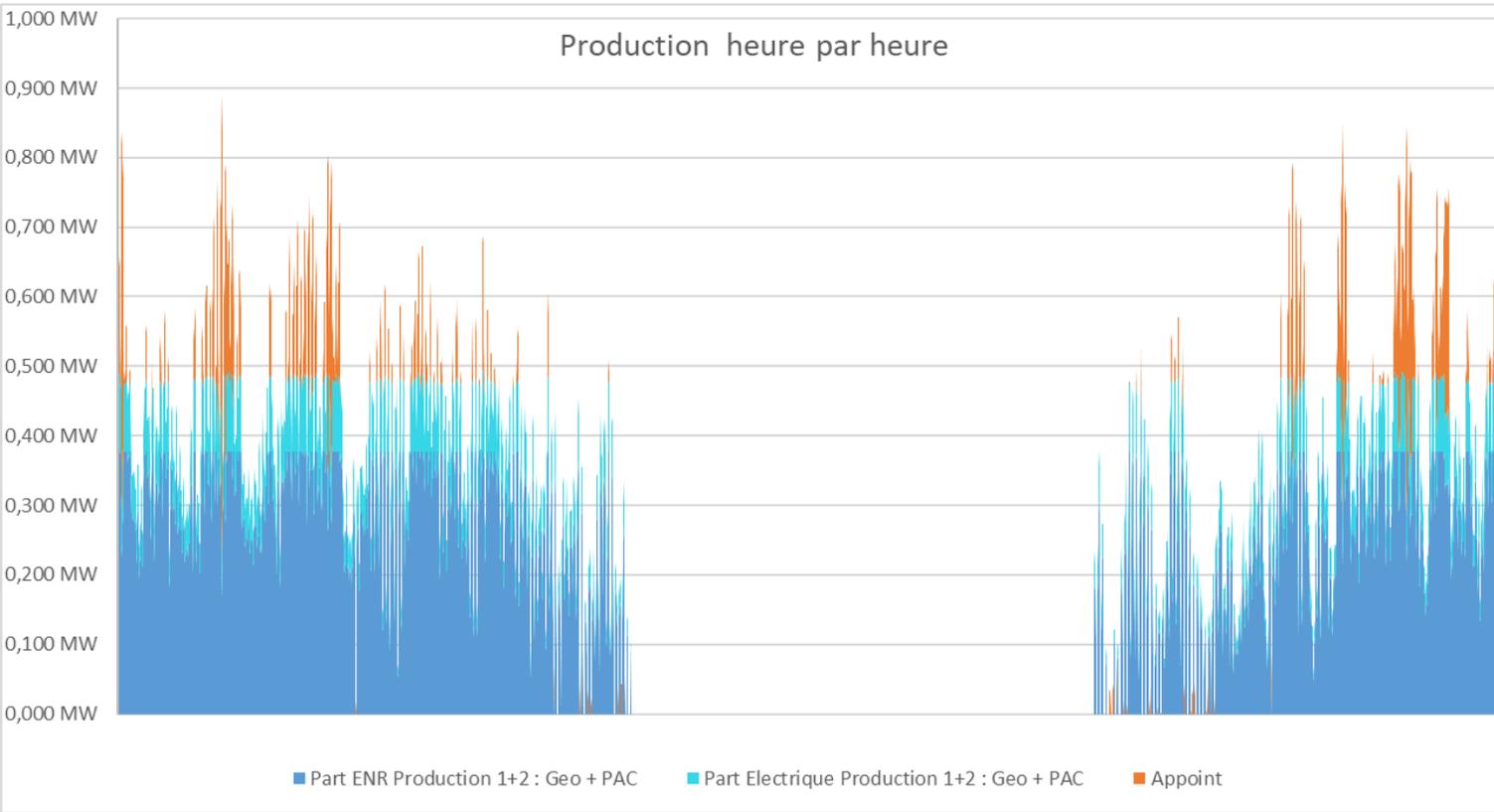
# Modélisation et bilan énergétique

## Modélisation des besoins froid PRC2



# Modélisation et bilan énergétique

## Modélisation des besoins chaud PRC2 + PRC1



# Modélisation et bilan énergétique

## Scénario 1 : Modélisation des besoins chaud PRC2 + PRC1 + Géocooling PRC2

Scénario 1	Besoins utiles	Solution géothermique (PAC + appoint éventuel)					
		Consommations			Production		
Scénario PRC 2 + PRC 1	(kWh)	PAC * (kWhef)	Auxiliaires** (kWhef)	Appoint (kWhef)	PAC part Géo (kWhef)	PAC part élec + Appoint (kWhef)	SCOP/ SEER
Chauffage	2 082 224	375 699	77 230	198 447	1 522 565	565 812	3,36
Froid par PAC			-				
Froid par géocooling	23 882	-	10 515	-	26 270	-	2,50
<b>Total</b>	<b>2 106 106</b>	<b>375 699</b>	<b>87 745</b>	<b>198 447</b>	<b>1 548 835</b>	<b>565 812</b>	<b>3,34</b>
* Consommation électrique du compresseur de la PAC							
** Consommation électrique des auxiliaires : pompes de forage, pompes de circulation (hors pompes côté distribution) ;							
***Froid : En cas de rafraîchissement direct (géocooling ou freecooling), l'indiquer clairement							
Mode	Durée utilisation (h)	Consommation auxiliaires** (kWhef)	Puissance moyenne (kW)		Mode chaud	Production PAC	Production Appoint
Chauffage	5 000	77 230	15		Puissance maximale atteinte (kWhef)	493	669
Froid par PAC	-	-	-		Taux de couverture	72,9%	27,1%
Froid par géocooling	1 200	10 515	9				
	<b>6 200</b>	<b>87 745</b>	<b>14</b>				

# 4- Cadre réglementaire

# Cadre réglementaire au droit du PRC2



Objectif de rester en GMI (Géothermie de Minime Importance)

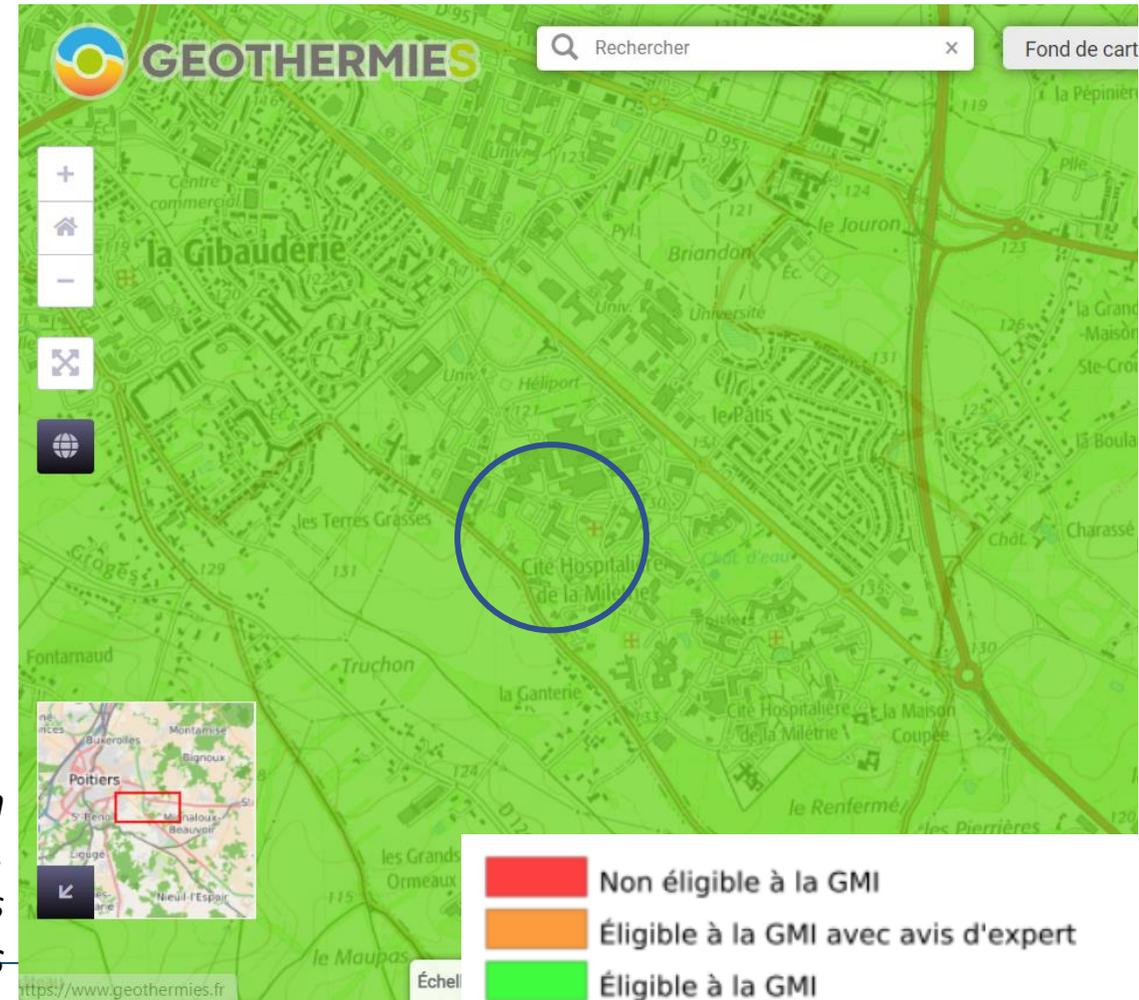
pour le futur doublet géothermique soit :

- Besoins thermique prélevé du sous sol < 500 kW
- Profondeur forage < 200 m
- Qmax réinjection < 80 m<sup>3</sup>/h
- Aquifère de prélèvement = aquifère de réinjection
- Zonage réglementaire VERT



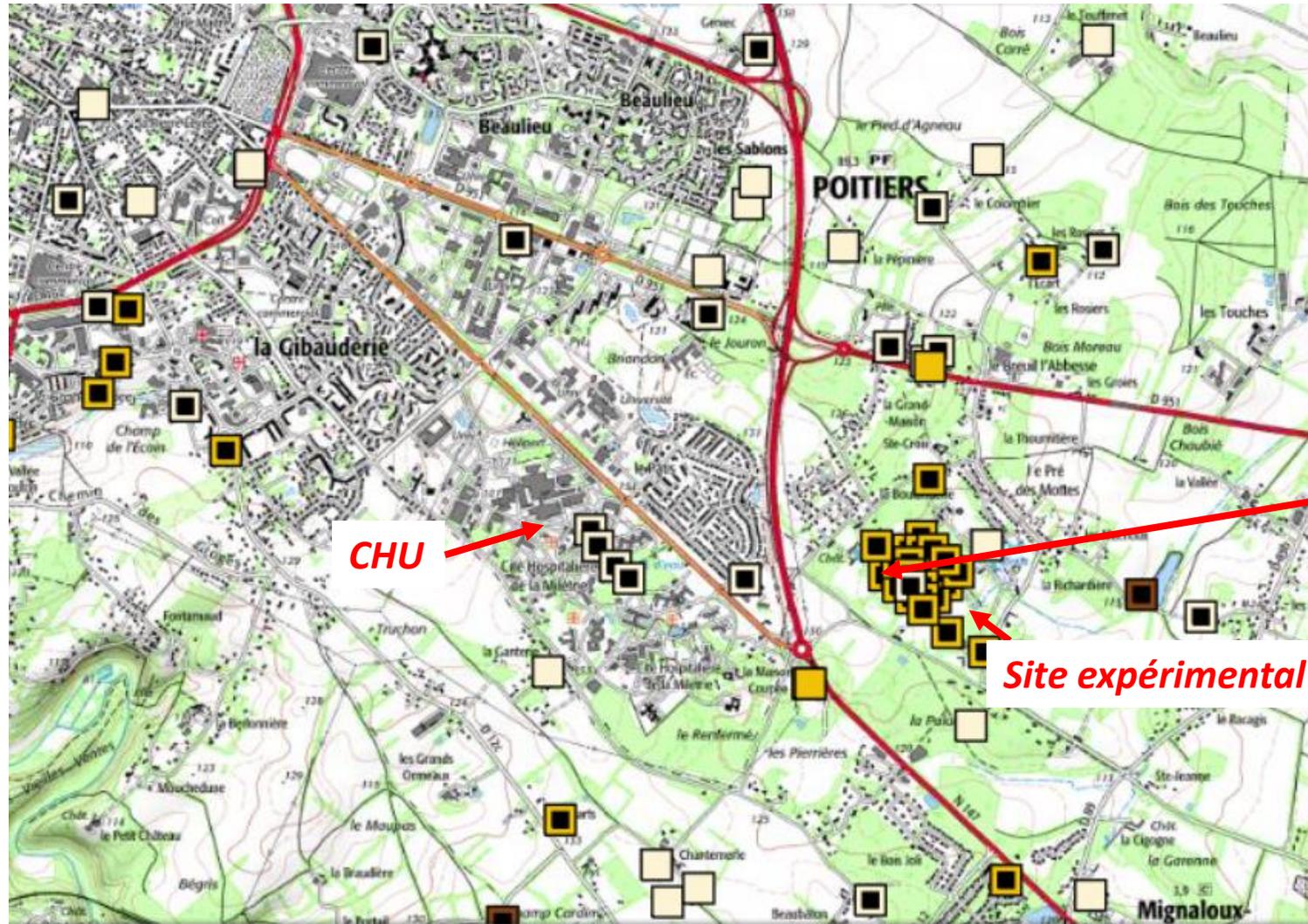
A noter qu'un doublet géothermique ( 2x 100 kW) réalisé avant 2015 existe au droit de l'Agora. Ce doublet a fait l'objet d'un dossier Code de l'Environnement et d'un arrêté d'autorisation en date du 18 janvier 2016 pour un débit maximal de prélèvement et de réinjection de 60 m<sup>3</sup>/h.

*Dans le cadre du projet PRC2, ce doublet de l'Agora n'a pas été pris en compte du fait de son antériorité à la réglementation GMI de 2015. Néanmoins, une régularisation réglementaire devra être réalisée en cas de déploiement de nouveau dispositif de géothermie (car besoins thermiques > 500 kW).*

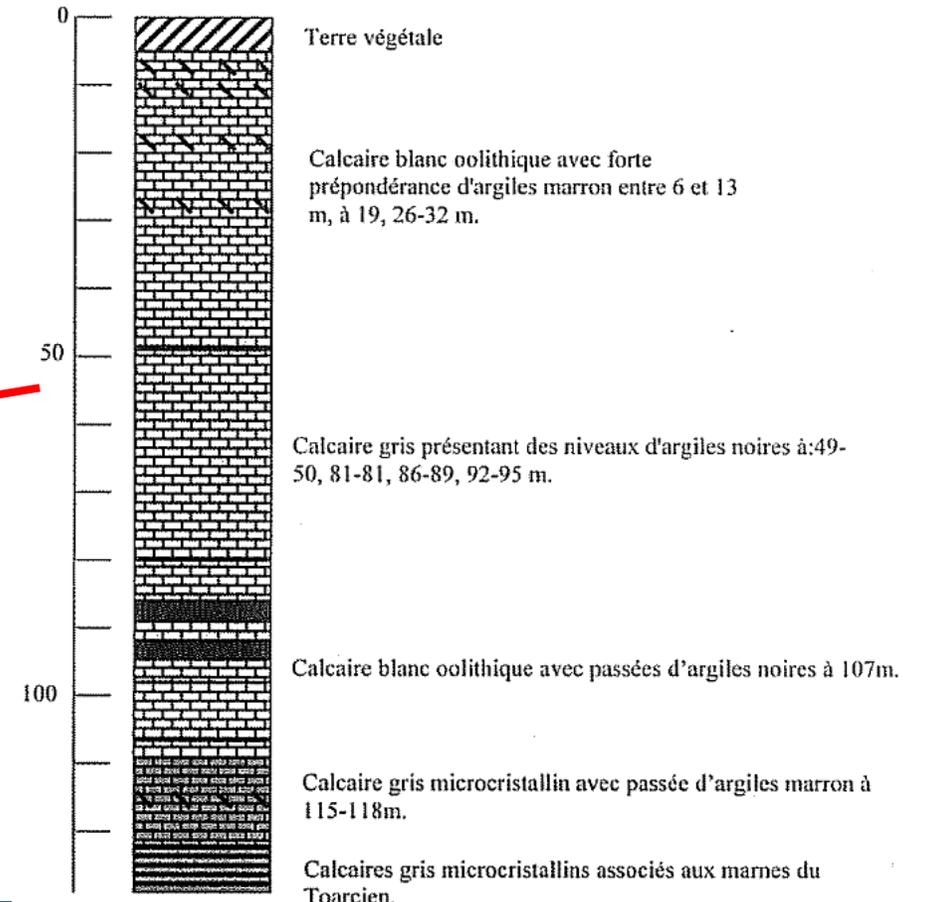


# 5- Contecte Hydrogéologique

# Contexte géologique/hydrogéologique



Banque de données du Sous-Sol (BSS)

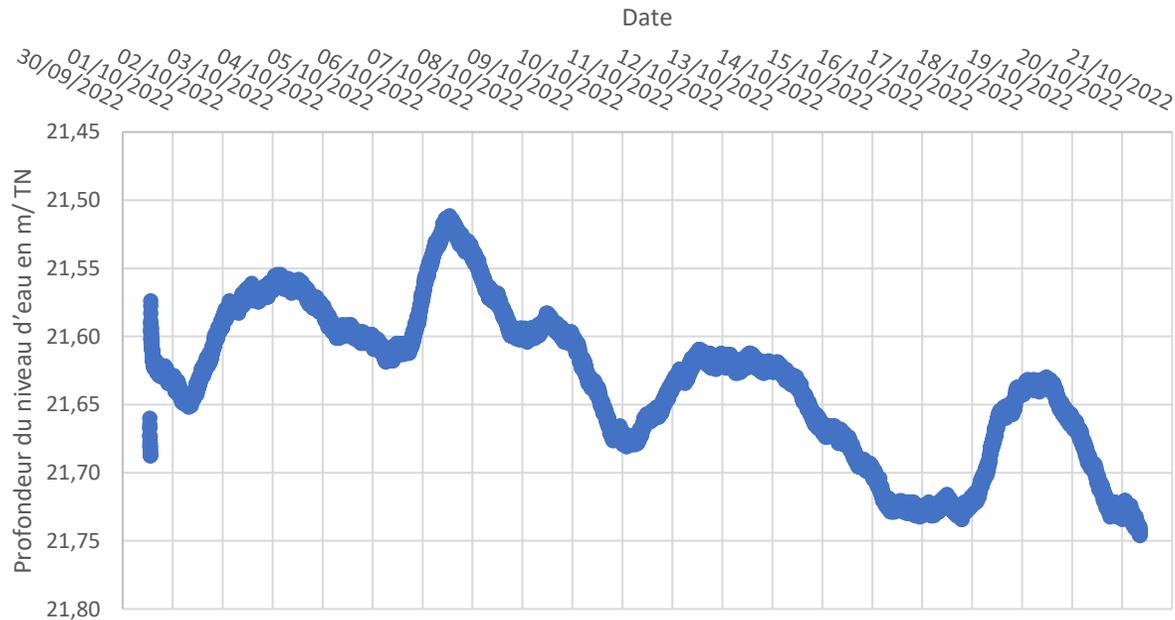


→ Au droit du site expérimental (SEH), calcaires sub-affleurant

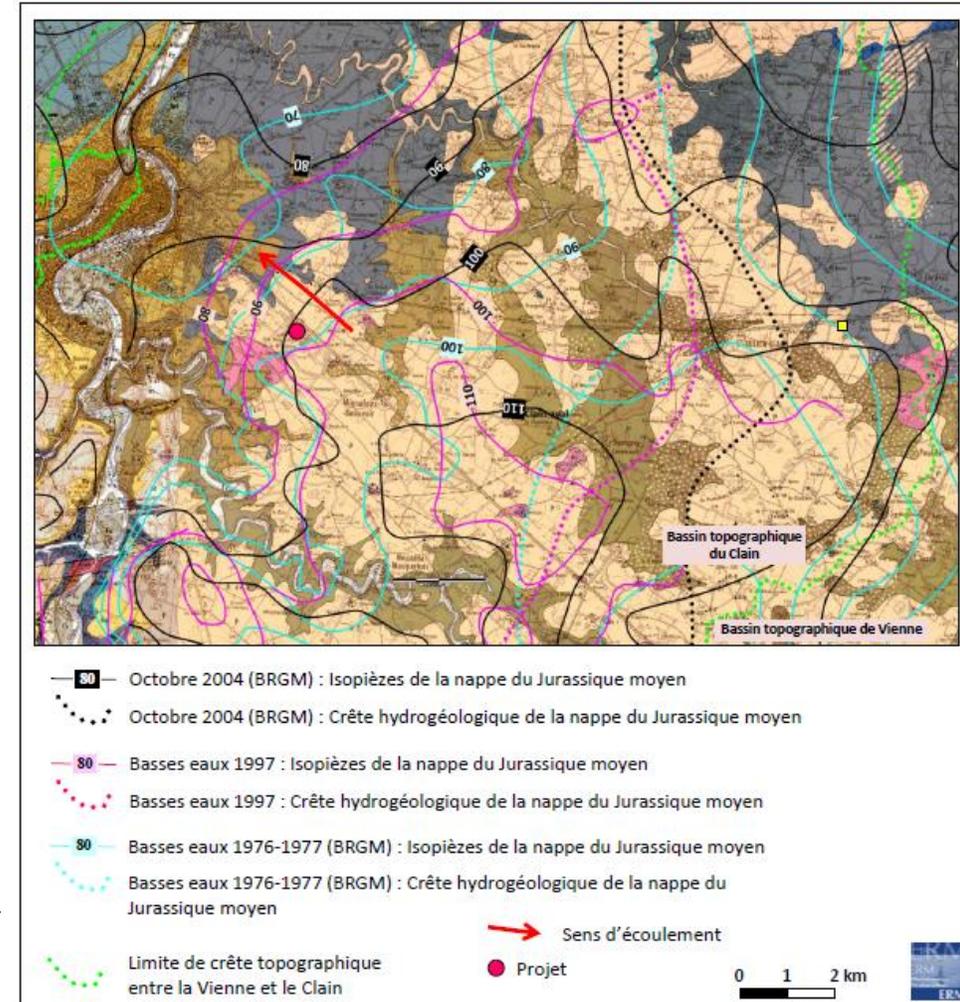
# Contexte géologique/hydrogéologique

- Hydrogéologie
- Nappe drainée par le Clain ;
- Sens d'écoulement en direction du Nord-Nord-Ouest ;
- Interaction piézométrique à valider entre PRC2 et l'Agora ( lors de la réalisation du PPP) ;

Suivi piézométrique sur SC-SPz1



- PRC2  
Cote TN: 122,50 mNGF
- Agora  
Cote TN: 133/134 mNGF

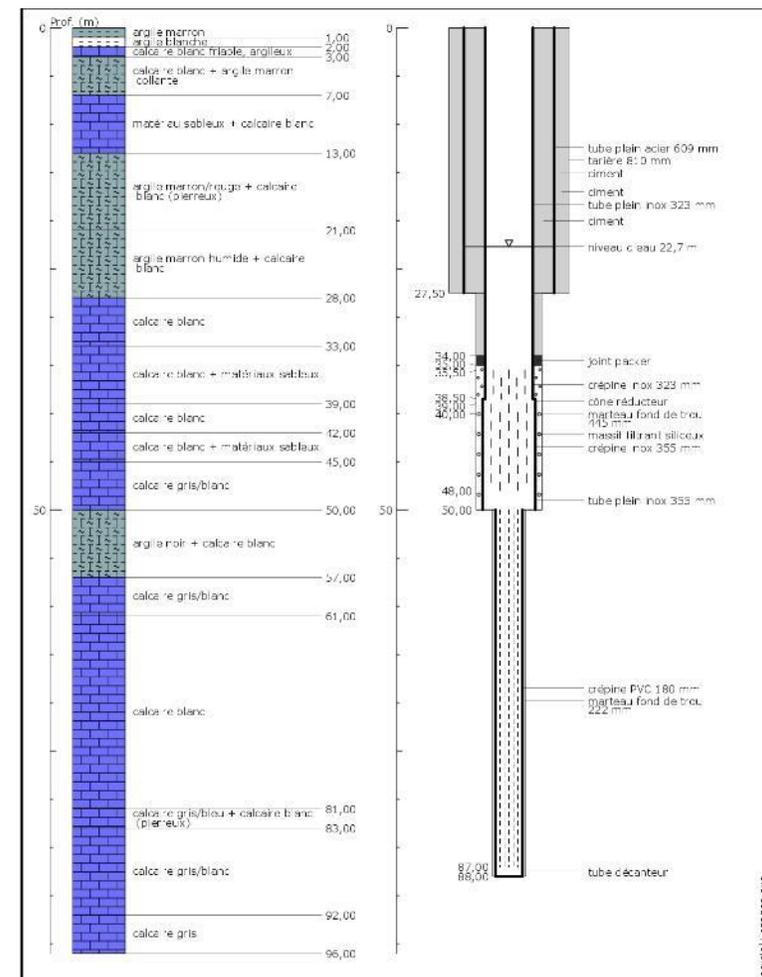


# Travaux sur le forage d'exhaure - PRC2

Un Dossier des Ouvrages Exécutés reprend le descriptif exhaustif des travaux réalisés est accessible en complément de cette présentation ( Rapport A123498)

Présentation du Forage d'Exhaure – Indice BSS004GNGC/X

Travaux réalisés du 15 février 2023 au 20 avril 2023



Tête de Forage

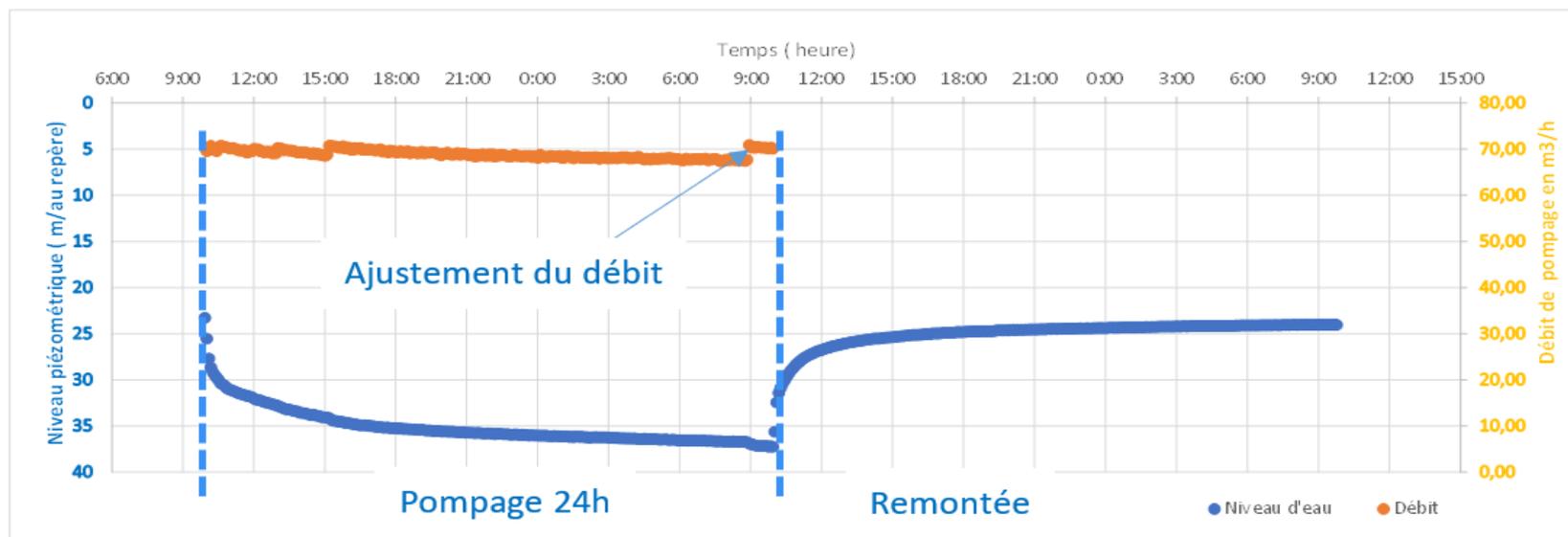
Coupe technique et géologique

# Travaux sur le forage d'exhaure - PRC2

Interprétation du Pompage de Longue Durée (réalisé le 18 et 19 avril 2023)

La valeur de transmissivité obtenue après interprétation du Pompage de Longue Durée témoigne de la bonne productivité de l'aquifère capté comprise entre  $= 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  et  $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et reste cohérente avec les valeurs de Transmissivité mesurées sur le site de l'Agora ( $T_{F1} = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et  $T_{PzCHHL} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ), bien qu'inférieure.

**Pour un débit de 70 m<sup>3</sup>/h**, le rabattement maximal observé au cours du pompage de 24h a été de 14 m, soit un niveau d'eau situé à 36,57 m/sol. Les crépines sont situées à 35,50m de profondeur.



# 6-Conclusions

# Conclusions et recommandations

## Partie Surface-Equipement PAC

Nous recommandons le mise en œuvre de la solution PAC qui a pour principal intérêt :

- Une **ressource d'énergies renouvelables présente sur le site** (retour d'expérience sur l'installation AGORA)
- **Une opportunité** dans le cas de la construction du bâtiment PRC2 et de la rénovation thermique du PRC1 à l'horizon 2030 (passage en basse température)
- Elle répond aux besoins **de chauffage et de rafraîchissement avec un intérêt technico-économique intéressant** dans le cadre de la production de froid supplémentaire (scénario 2 : chaud PRC2 + PRC1 + cascade de froid vers SST Froid Tour Jean Bernard puis PRC2)
- Une opportunité de **mutualiser et de sécuriser les installations les productions de chaud & froid**
- Un investissement important de 1,2 M€ à 1,3 M€ hors subventions mais **aidé avec une subvention Fond Chaleur ADEME** mobilisable

## Partie sous sol – Forage d'exhaure

Nous préconisons une exploitation de l'ouvrage entre 60 et 65 m<sup>3</sup>/h et de manière occasionnelle et ponctuelle (en période hivernale - hautes eaux) à 70 m<sup>3</sup>/h toute en surveillant que le niveau piézométrique ne descende pas sous les +87,3 m NGF (35 m/sol, haut des crépines).

## Partie sous sol – Forage réinjection

Le forage de réinjection devra être éloigné de l'ordre de **200 m** pour assurer un temps de percée ( = temps d'arrivée du front thermique du forage d'injection au forage de production) **> à 6 mois**.

Cette distance pourra être réduite selon le régime de fonctionnement chaud/froid et avec une régulation sécurisée => débits et plages de fonctionnement réduits pour éviter un recyclage thermique trop important.

# Fond chaleur

## Conditions d'éligibilité et de financement : Géothermie de surface et aérothermie- 2023

### Aides forfaitaires pour les installations de PAC « géothermiques » produisant de la chaleur et éventuellement du froid renouvelable :

Les aides forfaitaires concernent les installations suivantes dont la production de chaleur et éventuellement de froid renouvelable est supérieure ou égale à 25 MWh EnR/an et inférieure ou égale à 2000 MWh EnR/an :

- PAC sur sondes et géostructures énergétiques
- PAC sur échangeurs compacts géothermiques
- PAC sur nappe, sur eau de mer ou sur eaux usées

	Production de CHAUD	Production de FROID
Technologie	Aide forfaitaire en €/MWh EnR/an (sur 20 ans) en mode chaud	Aide forfaitaire en €/MWh EnR/an (sur 20 ans)
PAC sur sondes et géostructures énergétiques	50 €/MWh EnR	13 €/MWh EnR
PAC sur échangeurs compacts géothermiques	44 €/MWh EnR	13 €/MWh EnR
PAC sur eau de nappe, sur eau de mer et sur eaux usées	25 €/MWh EnR	13 €/MWh EnR

# Subventions

L'obtention d'aides est conditionnée par :

- production d'énergie supérieure à 25 MWh en entrée de pompe à chaleur
- coefficient de performance de la machine supérieur à 4,5 en production de chaud, et coefficient global de performance annuel de 3
- coefficient de performance de la machine supérieur à 3,6 en production de froid, et coefficient de global de performance annuel de 3,3
- nombre d'heures de fonctionnement à pleine puissance supérieur à 1000 heures par an.

<b>Scénario Chaud (+Froid Géocooling)</b>				<b>Scénario Chaud (+Froid par PAC)</b>			
	<b>Tranche (MWh)</b>				<b>Tranche (MWh)</b>		
	25	2000			25	2000	
	<b>Production de chaud</b>	<b>Production de froid</b>	<b>TOTAL</b>		<b>Production de chaud</b>	<b>Production de froid</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Aide sur 20 ans en €/MWh ENR</b>	25 €	13 €		<b>Aide sur 20 ans en €/MWh ENR</b>	25 €	13 €	
<b>Production annuelle en MWh ENR</b>	1 522	26	<b>1 548</b>	<b>Production annuelle en MWh ENR</b>	1 522	711	<b>2 233</b>
<b>Aide sur 20 ans en €/MWh ENR</b>	<b>761 000 €</b>	<b>6 760 €</b>	<b>767 760 €</b>	<b>Aide sur 20 ans en €/MWh ENR</b>	<b>761 000 €</b>	<b>184 860 €</b>	<b>945 860 €</b>

# Comparatif avec la situation de référence

Hypothèses exploitation						
Prix des énergies	unité			Cout en € HT	Sc1	Sc2
GAZ	€ HT / MWh PCS	50		Investissement	1 169 000 €	1 302 000 €
ELEC	€ HT / MWh elec	150		Subventions	767 760 €	945 860 €
Rapport PCS/PCI		90%		reste à financer	<b>401 240 €</b>	<b>356 140 €</b>
Surcout P2		4,0 €HT/MWhut		€/kW sans aides	2 248 €	2 504 €
Surcout P3		1,00% % invest		€/kW avec aides	772 €	685 €
<b>Réf. GAZ</b>	<b>Sc1</b>	<b>Sc2</b>		<b>Economie P1</b>	37 511 €	42 005 €
Conso gaz [MWh PCI]	2 082	2 082		Surcout P2	6 582 €	6 702 €
Conso elec [MWh elec]	16	243		Surcoût P3	6 960 €	8 110 €
				<b>Total Economie</b>	<b>23 969 €</b>	<b>27 194 €</b>
<b>Projet PAC</b>	<b>Sc1</b>	<b>Sc2</b>				
Conso gaz [MWh PCI]	198	198		<b>Temps de retour Brut sans aides (année)</b>	49	48
Conso elec [MWh elec]	463	660		<b>Temps de retour Brut avec aides (année)</b>	17	13

✓ Les aides pour le Sc2 (Scénario 2 : chaud PRC2 + PRC1 + cascade de froid vers SST Froid Tour Jean Bernard puis PRC2) permettent d'avoir un meilleur temps de retour brut.

# Bilan environnemental

Hypothèses environnement						Projet PAC		
						Taux EnR&R	73,5%	73,7%
Contenu CO2			Réf. GAZ Contenu CO2	Sc1	Sc2			
Biomasse	0,000	t/MWh PCI	Contenu CO2 conso gaz [Tonne/an]	429	429	Contenu CO2 conso elec [Tonne/an]	83	119
Gaz	0,206	t/MWh PCI	Contenu CO2 conso elec [Tonne/an]	3	44	<b>TOTAL Contenu CO2 [Tonne/an]</b>	<b>124</b>	<b>160</b>
Electricité PAC	0,180	t/MWh	<b>TOTAL Contenu CO2 [Tonne/an]</b>	<b>432</b>	<b>473</b>	<b>Emissions de CO2 évitées [Tonne/an]</b>	307	313
Indicateur 1	1,014	t CO2 par l'AR en avion				<b>Emissions de CO2 évitées sur 20 ans [Tonne/an]</b>	6 150	6 258
Indicateur 2	0,005	t CO2 par le train						
Indicateur 3	0,073	g CO2 par km de voiture						
			Sc1	Par an	Sur 20 ans	Sc2	Par an	Sur 20 ans
			allers-retours Paris-New York en avion	6 063	121 262	allers-retours Paris-New York en avion	6 169	123 389
			allers-retours Paris-Bordeaux en train	1 151 990	23 039 800	allers-retours Paris-Bordeaux en train	1 172 196	23 443 927
			Kilomètres effectués en ville en Twingo	84 753 551	1 695 071 022	Kilomètres effectués en ville en Twingo	86 240 158	1 724 803 170

Le gain des émissions de CO2 évités se fait principalement sur l'effacement des consommations de gaz.