

Maître d'ouvrage

UNIVERSITE DE PERPIGNAN VIA DOMITIA
52 Av. Paul Alduy,
66100 PERPIGNAN

BOUCLE D'EAU TEMPERE
INSTALLATION DE GEOTHERMIE
CAMPUS DU MOULIN A VENT

MISSION DE CONCEPTION ET DE
MAITRISE D'OEUVRE
PROGRAMME TECHNIQUE

Rédaction :

Alexandre TESSIER AMO Energie

Indice	Date	Objet
A	avril 2025	Indice A

SOMMAIRE

I	Généralités	2
I.1	Contexte du projet.....	2
I.2	Résumé de la prestation de maîtrise d'œuvre.....	2
II	Description de l'installation et performances attendues.....	3
II.1	Fonctionnement d'une boucle d'eau tempérée à énergie géothermique (BETEG)	3
II.2	Etat des lieux de l'installation actuelle	5
II.3	Etudes déjà réalisées	18
II.4	Caractéristiques attendues de l'installation de géothermie.....	19
II.5	Performance de l'installation.....	26
II.6	Articulation entre la géothermie et l'installation actuelle	26
II.7	Electricité	27
II.8	Gestion technique centralisée	27
II.9	Normes et réglementation	29
III	Dimensionnement des équipements	30
III.1	Vérification du dimensionnement en régime statique.....	30
III.2	Dimensionnement de l'installation de géothermie	31
III.3	Electricité.....	31

I GENERALITES

I.1 Contexte du projet

L'Université de Perpignan Via Domitia (**UPVD**) est engagée depuis plusieurs années dans un programme de rénovation énergétique de son patrimoine bâti.

À ce titre, elle envisage d'atteindre une réduction importante de ses consommations d'énergie, et en conséquence une forte amélioration de son bilan carbone.

Plusieurs bâtiments du patrimoine de l'UPVD ont déjà fait l'objet de programme complet de rénovation énergétique.

Par ailleurs, le campus du moulin à vent est en cours de remplacement de son ancien réseau de chaleur collectif au gaz par une boucle d'eau tempérée à énergie géothermique (BETEG).

À ce jour, les travaux de la boucle d'eau tempérée ont été effectués, mais la production géothermique a été séparée dans une deuxième tranche de travaux. Les travaux de la première tranche ont été réalisés par l'entreprise Axima. La maîtrise d'œuvre a été assurée par bureau d'études Energie R et le cabinet d'architecture NM2A.

Une étude de faisabilité technico-économique concernant la production géothermique a été effectuée en 2023 confirmant l'intérêt de réaliser cette production dans une deuxième tranche de travaux.

En parallèle, l'UPVD a déposé des demandes de subvention pour cette installation et a reçu les accords des financeurs.

C'est pourquoi elle souhaite maintenant choisir un maître d'œuvre qui réalisera la conception de l'installation, établira le dossier de consultation des entreprises, encadrera les travaux, et l'accompagnera dans toutes les phases de la réalisation de ce projet.

I.2 Résumé de la prestation de maîtrise d'œuvre

Le maître d'œuvre se voit confié une mission d'ingénierie. En ce sens, il devra réaliser la conception, le choix et le dimensionnement de tous les équipements et éléments nécessaires au bon fonctionnement de l'installation.

Les choix techniques devront être réalisés dans un souci d'optimisation afin de dimensionner les installations au plus juste et maîtriser au maximum les coûts d'investissements. Ces choix devront également être réalisés dans un objectif de maximisation des performances énergétiques.

Le maître d'œuvre aura aussi pour mission de produire toutes les pièces nécessaires à la consultation des entreprises qui réaliseront les travaux.

Il sera l'interlocuteur privilégié du maître d'ouvrage, et l'assistera dans la procédure du choix des entreprises en réalisant une analyse objective des offres de celle-ci.

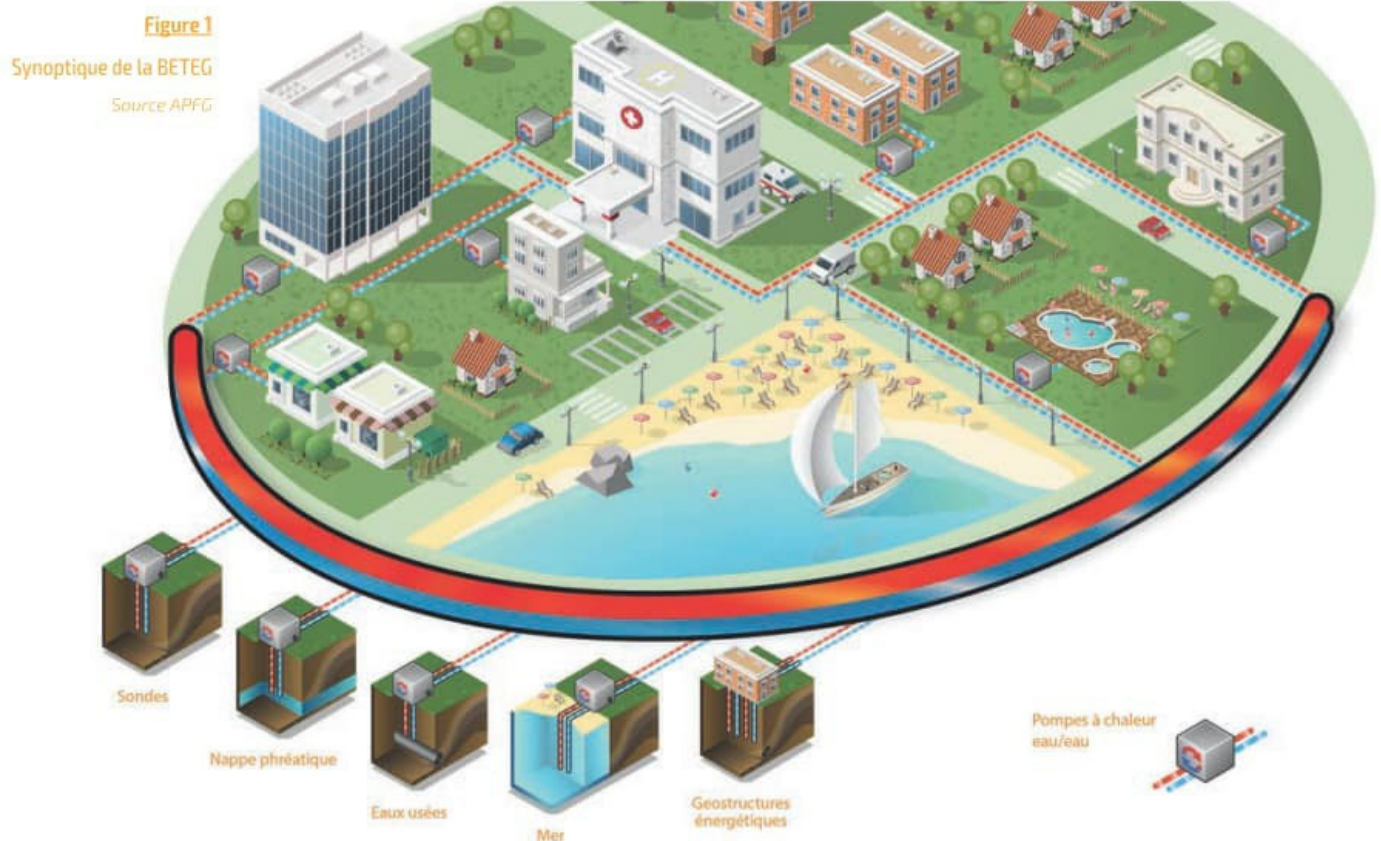
En phase chantier, il sera responsable de la direction, de l'organisation et du suivi des travaux. Il devra vérifier les études et propositions des entreprises. Il devra réaliser l'ordonnancement, le pilotage et la coordination du chantier (mission OPC). Il sera également responsable du suivi technique et de la bonne mise en œuvre des travaux.

Enfin, il devra s'assurer du bon fonctionnement des installations dans les premières périodes de fonctionnements suivant la réception et la mise en service de celle-ci.

Cette prestation de conception / maîtrise d'œuvre pourra être réalisée par une seule structure qui effectuera toutes les missions ou bien par un groupement de plusieurs entités. Dans le second cas, une structure référente devra être désignée afin d'échanger avec la maîtrise d'ouvrage permettant à celui-ci d'avoir un interlocuteur privilégié qui devra retransmettre les échanges avec les autres membres de son équipe.

II DESCRIPTION DE L'INSTALLATION ET PERFORMANCES ATTENDUES

II.1 Fonctionnement d'une boucle d'eau tempérée à énergie géothermique (BETEG)



La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique est un réseau de distribution de l'énergie thermique alimenté principalement par une source géothermique comme source de chaleur ou de froid.

Il a la particularité d'évoluer à une très basse température généralement entre 5°C et 30 °C. Cette température est très proche de la température du sol dans lequel il est enterré, ce qui permet de distribuer l'énergie tout en minimisant au maximum les pertes thermiques.

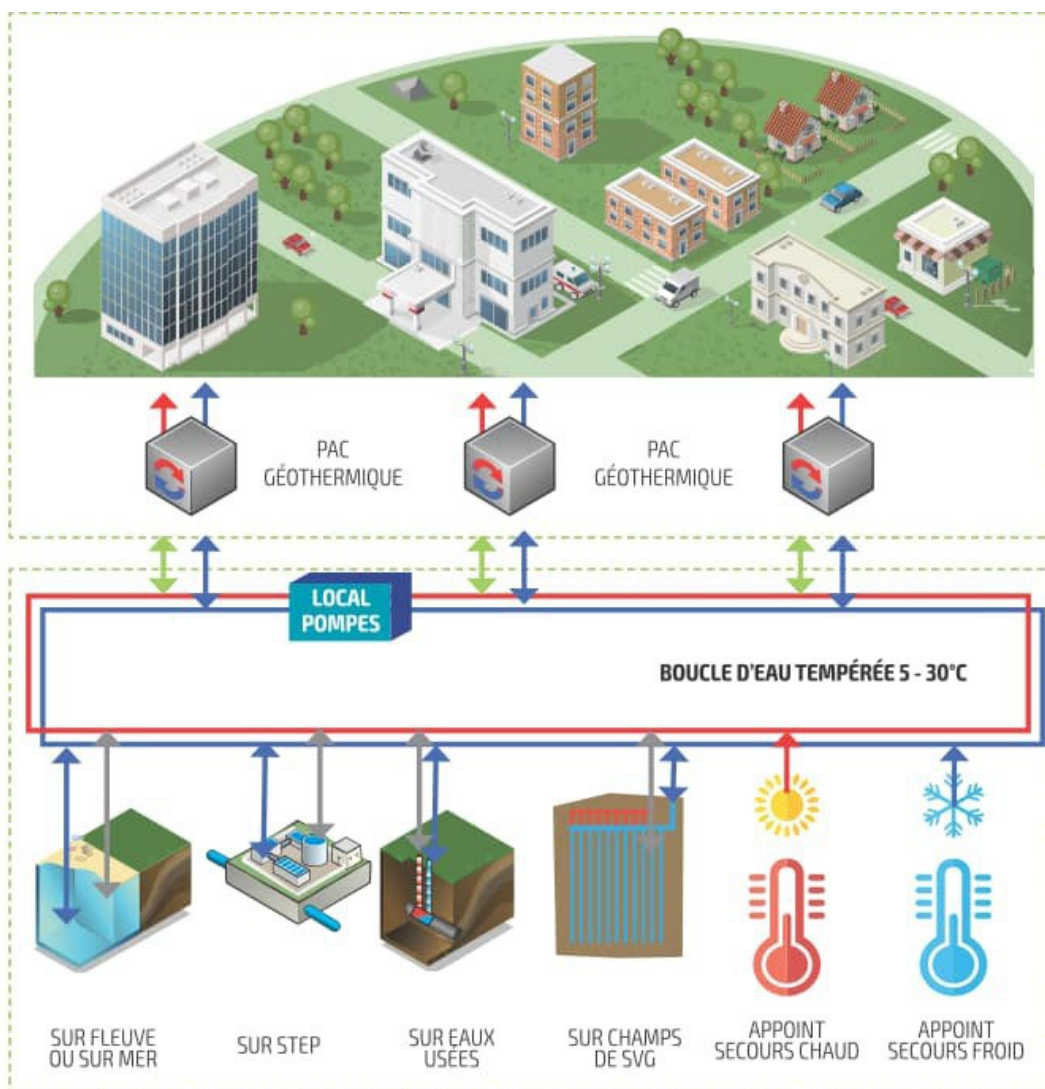
Comme un réseau de chaleur ou de froid classique, ce réseau a pour vocation principale de distribuer de l'énergie thermique entre une source de chaleur et des bâtiments qui y sont raccordés, ou entre une source de froid et ces mêmes bâtiments. La particularité d'un réseau à boucle d'eau tempérée (**BET**) est qu'il permet de distribuer du chaud et du froid via un même réseau, et permet également les transferts d'énergie entre bâtiments dans les cas où certains sont en demande de chaud et d'autres en demande de froid simultanément.

Il sert de source chaude ou de source froide à des pompes à chaleur eau / eau qui vont y puiser ou y rejeter de l'énergie. Ces pompes à chaleur vont ainsi produire de l'eau à plus haute température pour alimenter des réseaux de chauffage et/ou de l'eau glacée pour alimenter des réseaux de climatisations qui seront utilisés dans les bâtiments raccordés.

Le réseau est quant à lui majoritairement alimenté par de l'énergie géothermique soit en puisant des calories dans le sol lorsque le réseau est en demande de chaleur, soit en rejetant des calories dans le sol lorsque celui-ci est en demande de froid.

En parallèle de la géothermie, la BET peut être raccordée à d'autres sources d'énergie comme des chaudières gaz, de l'aérothermie, ou des installations utilisant l'énergie solaire. Ces autres sources d'énergie peuvent intervenir en parallèle de la géothermie, en appoint, en encore en secours.

Figure 2
Synoptique de la BETEG
Multi énergies
et multipoints
Source BURGEAP



II.2 Etat des lieux de l'installation actuelle

La première phase de l'installation de la BETEG de l'UPVD réalisée en 2023, a consisté en la réalisation de la boucle d'eau tempérée, de l'installation des PAC eau / eau alimentant les bâtiments, et des réseaux d'eau chaude et d'eau glacée entre ces PAC et les bâtiments. Il y a au total **7 PAC** qui alimentent chacune un ou plusieurs bâtiments.

La BET fonctionne actuellement uniquement en chaud et est alimentée par la chaufferie centrale à gaz de l'UPVD. Cette même chaufferie est également raccordée à l'ancien réseau de chaleur. Cette chaufferie à vocation à devenir uniquement le secours de l'installation géothermique.

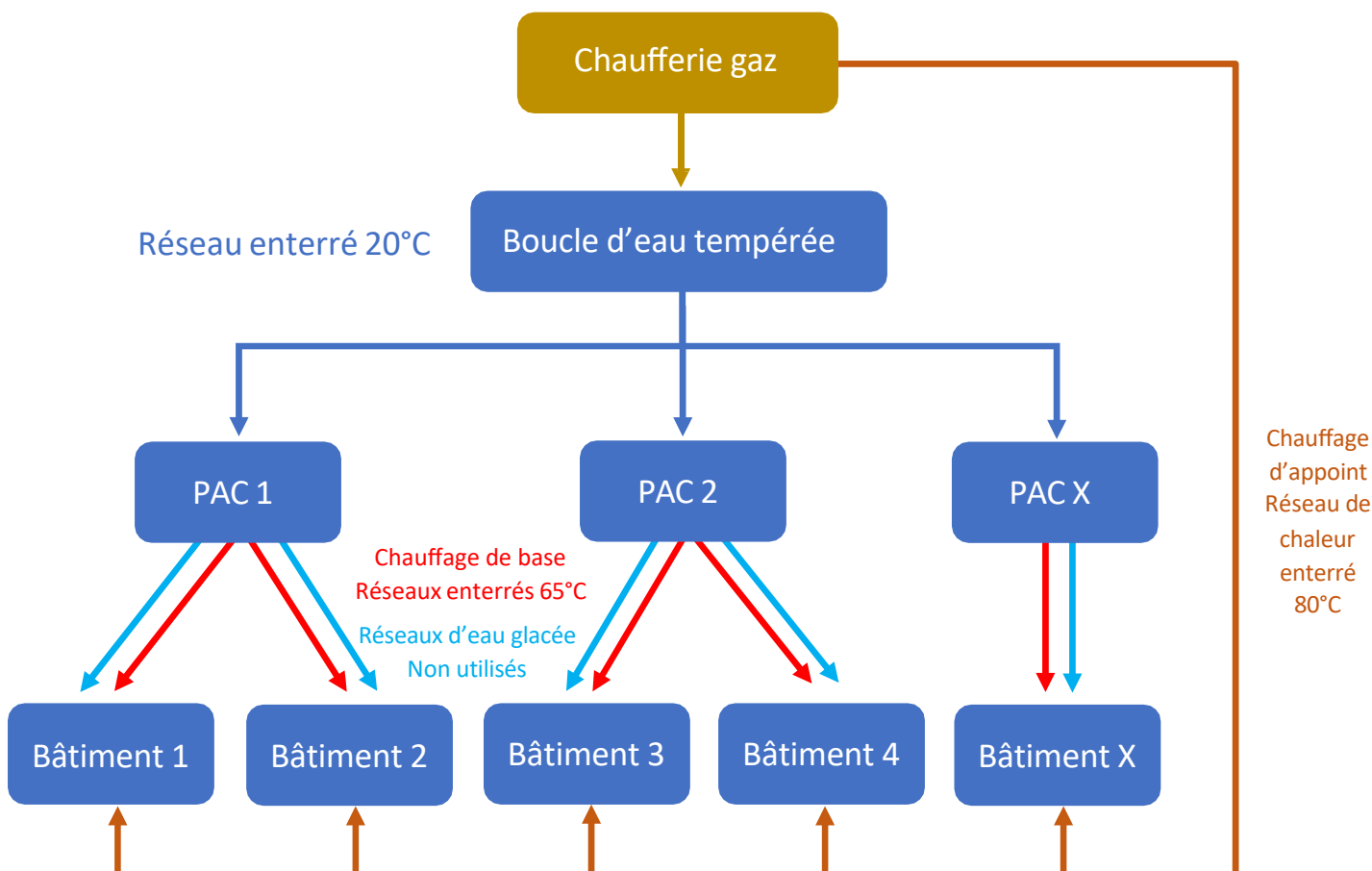
Les bâtiments présentent actuellement des performances énergétiques variées. Certains ont été rénovés avec des opérations d'isolation des parois et l'installation de systèmes de ventilation efficaces ; d'autres présentent de très mauvaises performances énergétiques.

L'UPVD compte poursuivre la rénovation des bâtiments et mener des opérations d'isolation et de réduction des besoins énergétiques sur tous les bâtiments qui n'ont pas encore été rénovés. Certains ne seront pas rénovés après la mise en service de l'installation de géothermie, mais il est prévu qu'ils le soient tous à moyen terme.

C'est pourquoi la **BET et tous ses équipements ont été dimensionnés dans l'hypothèse d'une rénovation complète du patrimoine bâti du campus**. Ce même principe de dimensionnement est appliqué pour la géothermie.

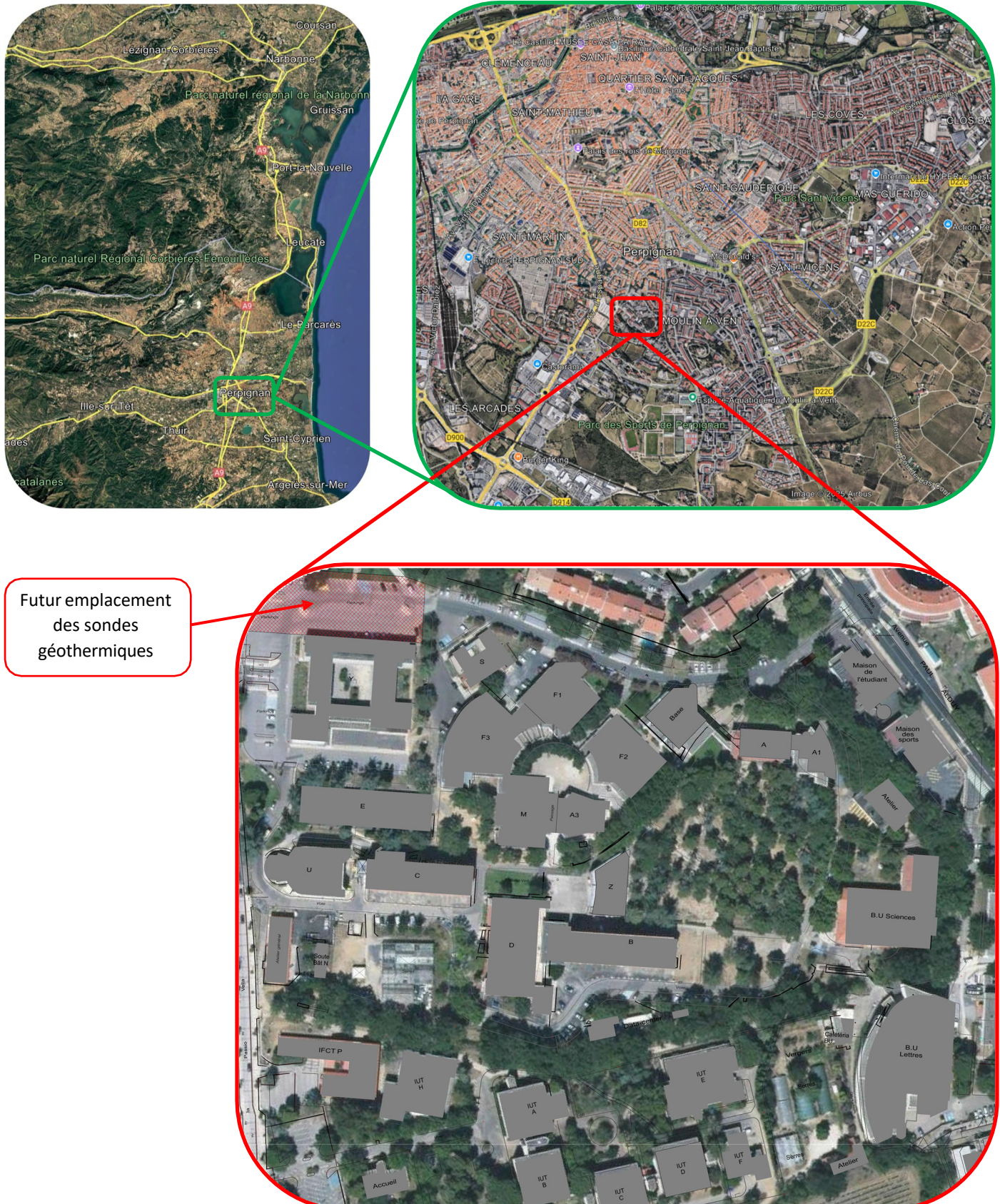
Dans l'attente de la finalisation des rénovations énergétiques, la possibilité d'utiliser l'ancien réseau de chaleur a été conservée. Celui-ci pourra fonctionner dans un premier temps en appoint de la BETEG. Il ne sera mis en route que si nécessaire lors des **périodes très froides**. À terme, il sera complètement arrêté et la chaufferie gaz ne fonctionnera plus qu'en secours.

Les flux d'énergie de l'installation actuelle sont résumés par le schéma type suivant :



II.2.1 Localisation

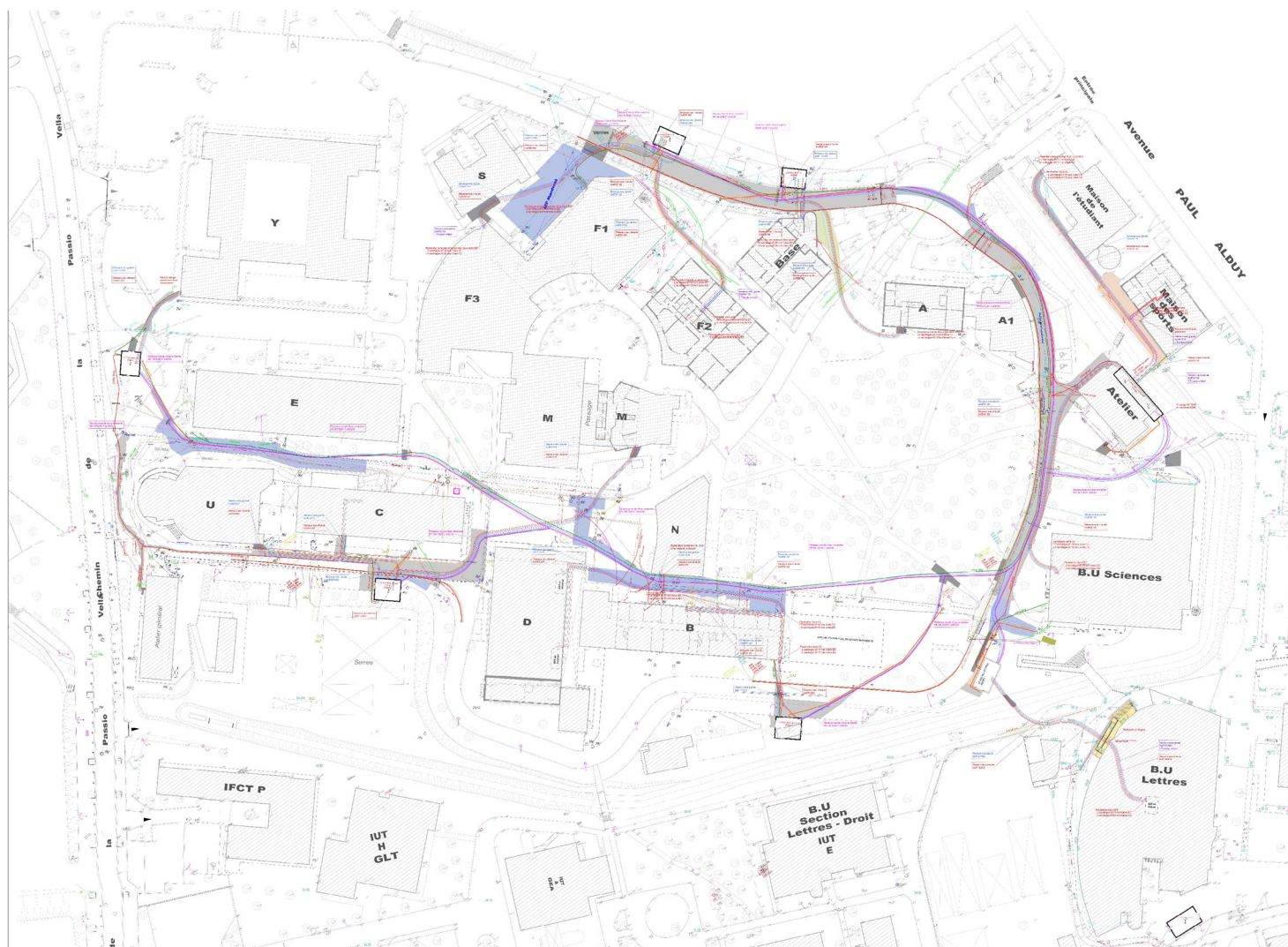
Le projet se situe sur la commune de Perpignan sur le campus du moulin à vent de l'UPVD situé entre l'avenue Paul Alduy et le chemin de la Passio Vella.



II.2.2 Boucle d'eau tempérée

La BET est composée de tubes polyéthylènes noir type Pe 100 avec disposant d'une pression nominale de 10 bars.

Ils sont enterrés à une profondeur située autour de 1,5 mètres.



Plan d'implantation des réseaux et des locaux PAC extrait du DOE

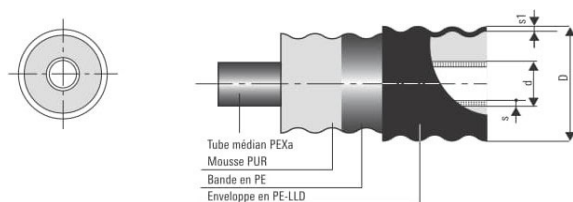
II.2.3 Bâtiments

Il y a au total **16 sous-stations** dans les bâtiments qui sont alimentées par la BET.

Chacune de ces sous-stations possède ses circuits hydrauliques dédiés au chauffage avec des départs régulés qui alimentent des réseaux de restitutions dans les bâtiments (émetteurs majoritairement de type radiateurs).

Chacune de ces sous-stations possède également un réseau d'eau glacée en attente. Les départs et les réseaux de restitution froid ne sont pour l'instant pas réalisés et ne font pas l'objet de la présente mission.

Les sous-stations bâtiments sont alimentées depuis les locaux PAC par des tubes en polyéthylène réticulé PEXa isolés par de la mousse rigide polyuréthane pour l'eau chaude et COOLFLEX pour l'eau glacée.



source : BRUGG

Les bâtiments et leurs déperditions projetées sont les suivants¹ :

Bâtiment	Déperditions Emetteurs pièces	Déperditions prétraitement AN 20°C	Régime de température Emetteurs	TOTAL déperditions bâtiment (avec 15 % de surpuissance)	TOTAL SOUS- STATION
Base	44 kW	0 kW	70C /55 °C	115 kW	115 kW
A	24 kW	0 kW			
A1	47 kW	0 kW			
B	57 kW	10 kW	60°C /45 °C	76 kW	180 kW
V	9 kW	0 kW			
D	46 kW	15 kW	60°C /45 °C	61 kW	
Z	30 kW	13 kW	60°C /45 °C	43 kW	
C	53 kW	40 kW	60°C /45 °C	93 kW	246 kW
U	52 kW	28 kW	60°C /45 °C	80 kW	
A3	21 kW	9 kW	60°C /45 °C	73 kW	
M	34 kW	9 kW	60°C /45 °C		
Maison de l'étudiant	33 kW	15 kW	60°C /45 °C	48 kW	145 kW
Maison des sports	36 kW	0 kW	60°C /45 °C	36 kW	
BU Sciences	53 kW	8 kW	60°C /45 °C	61 kW	
BU Lettres	210 kW	20 kW	70C /55 °C	230 kW	230 kW
F1	67 kW	8 kW	60°C /45 °C	188 kW	238 kW
F3	76 kW	37 kW			
F2	45 kW	5 kW	60°C /45 °C	50 kW	
Y	115 kW	20 kW	60°C /45 °C	135 kW	135 kW
				1289 kW	1289 kW

¹ Calcul de déperditions selon EN12831 effectué par le bureau d'études Energie R extrait de l'étude de faisabilité géothermie

Le raccordement aux réseaux de chauffage des sous-stations existantes se fait via l'intermédiaire d'un échangeur à plaque.

Les réseaux d'eau glacée sont en attente en sous-station. Les départs froids en sous-station et leurs réseaux de restitutions seront réalisés dans le cadre des opérations de rénovation énergétiques de chacun des bâtiments.

Ci-après un exemple du raccordement en sous-station bâtiment (sous-station BU lettre) :

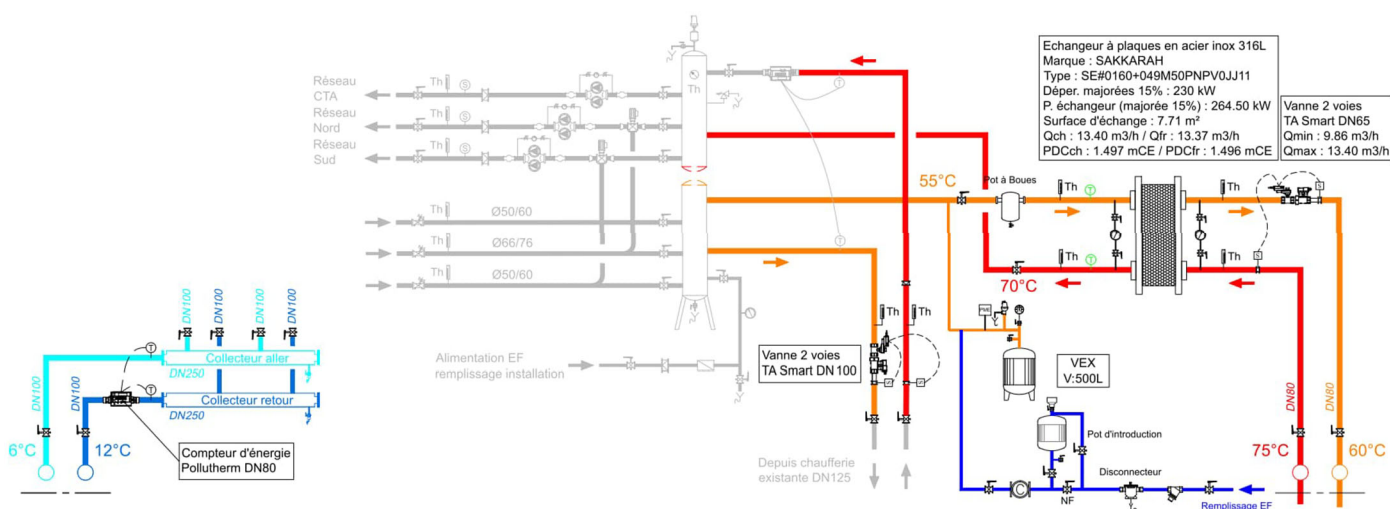


Schéma d'une sous-station bâtiment extrait du DOE

La puissance transmise à la sous-station est régulée via une vanne 2 voies motorisée TA smart permettant de réaliser l'équilibrage dynamique, la régulation et le comptage d'énergie.

Comme une majorité des bâtiments n'ont pas encore fait l'objet d'une rénovation énergétique, la possibilité d'utiliser l'ancien réseau de chaleur au gaz a été conservée le temps que ceux-ci soient rénovés. Si, pour ces bâtiments, la puissance des PAC ne suffit pas pendant les périodes les plus froides, alors l'ancien réseau de chaleur viendra alimenter les réseaux secondaires en appoint. Le même type de vanne TA smart est installée à l'arrivée du réseau en sous-station, et peut s'ouvrir si les consignes de températures des réseaux secondaires ne sont pas atteintes uniquement avec les PAC.

II.2.4 Local Pompe

Le local PAC atelier héberge une PAC mais aussi les pompes de circulations la boucle d'eau tempérée.

La circulation dans la boucle d'eau tempérée est assurée par 3 pompes monocellulaires, monobloc équipées de moteurs synchrones à aimants permanents.

Le débit total maximal dans la boucle de 138 m³/h est assuré par le fonctionnement de 2 pompes en simultanément avec une permutation sur les 3 pompes.

Les pompes sont équipées de convertisseurs de fréquences permettant de faire varier leur vitesse et d'ajuster le débit de la boucle en fonction des besoins en temps réel.

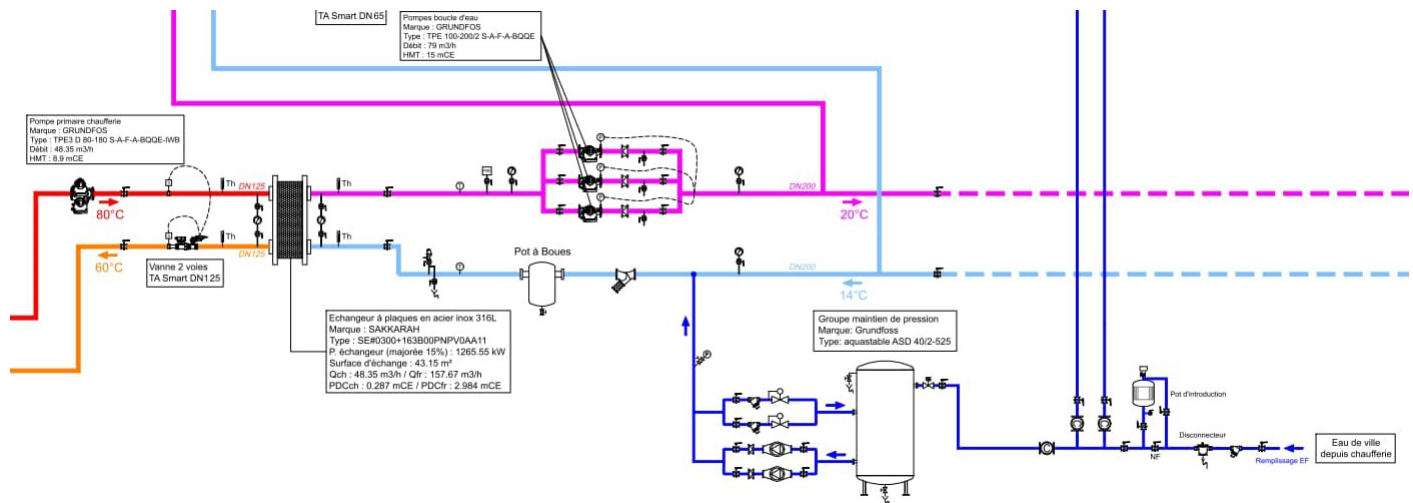


Schéma du local pompes extrait du DOE



les 3 pompes de circulation de la BET située dans le local atelier.



II.2.5 Locaux pompes à chaleur

Les pompes à chaleur géothermique font l'interface entre la BET et les sous-stations des bâtiments.

Elles sont installées dans des locaux techniques spécialement créés à cet effet. Dans chaque local, une PAC est présente qui peut alimenter un ou plusieurs bâtiments.

Un échangeur de chaleur est installé entre la BET et la PAC. L'ensemble des pompes, ballons, et éléments hydrauliques permettant de transférer l'énergie entre la BAT et les bâtiments sont présents dans ces locaux.

Ces PAC sont prévues pour produire de l'eau chaude jusqu'à 65°C et de l'eau glacée à 6°C. Elles peuvent fonctionner en mode thermo-frigopompe et produire du chaud et du froid simultanément. Les PAC sont reliées aux sous-stations des bâtiments par des réseaux enterrés isolés.

Chacune des PAC a été dimensionnée dans l'hypothèse d'une rénovation complète du patrimoine bâti du campus.

Les caractéristiques des pompes à chaleur eau/eau installées sont les suivantes :

Fonctionnement en chaud :

Local PAC	Bâtiment	Déperditions	Modèle PAC installée	Puissance PAC installée	Régime condenseur	Régime évaporateur	COP
Bat A	Base A	115 kW	TRANE RTSF 050 C B	180,6 kW	75°C/60°C	16°C/10°C	2,70
	A1						
Data Center	B	180 kW	TRANE RTSF 050 C B	192,1 kW	65°C/50°C	16°C/10°C	3,39
	V						
	D						
	Z						
Bat C	C	246 kW	TRANE RTSF 090 A A	327,6 kW	65°C/50°C	16°C/10°C	3,47
	U						
	A3						
	M						
Atelier	Maison de l'étudiant	145 kW	TRANE RTSF 050 C B	192,1 kW	65°C/50°C	16°C/10°C	3,39
	Maison des sports						
	BU sience						
BU	BU lettres	230 kW	TRANE RTSF 090 A A	307,2 kW	75°C/60°C	16°C/10°C	2,76
Bat F	F1	238 kW	TRANE RTSF 060 A A	232,4 kW	65°C/50°C	16°C/10°C	3,42
	F3						
	F2						
Bat Y	Y	135 kW	TRANE RTSF 050 C B	192,1 kW	65°C/50°C	16°C/10°C	3,39

Fonctionnement en froid :

Local PAC	Bâtiment	Modèle PAC installée	Puissance PAC installée	Régime condenseur	Régime évaporateur	EER
Bat A	Base A	TRANE RTSF 050 C B	186,3 kW	30°C/24°C	7°C/12°C	5,34
	A1					
Data Center	B	TRANE RTSF 050 C B	186,3 kW	30°C/24°C	7°C/12°C	5,34
	V					
	D					
	Z					
Bat C	C	TRANE RTSF 090 A A	313,5 kW	30°C/24°C	7°C/12°C	5,63
	U					
	A3					
	M					
Atelier	Maison de l'étudiant	TRANE RTSF 050 C B	186,3 kW	30°C/24°C	7°C/12°C	5,34
	Maison des sports					
	BU sience					
BU	BU lettres	TRANE RTSF 090 A A	313,5 kW	30°C/24°C	7°C/12°C	5,63
Bat F	F1	TRANE RTSF 060 A A	226,7 kW	30°C/24°C	7°C/12°C	5,4
	F3					
	F2					
Bat Y	Y	TRANE RTSF 050 C B	186,3 kW	30°C/24°C	7°C/12°C	5,34

Les PAC sont dimensionnées sur le fonctionnement en chaud. Il a été convenu avec la maîtrise d'ouvrage que celles-ci pourraient ne pas être suffisamment puissantes en froid dans certaines conditions et donc ne pas permettre de maintenir la consigne de température dans les bâtiments pendant les jours les plus chauds de l'année.

En local sous-station, les PAC sont raccordées avec le schéma type suivant :

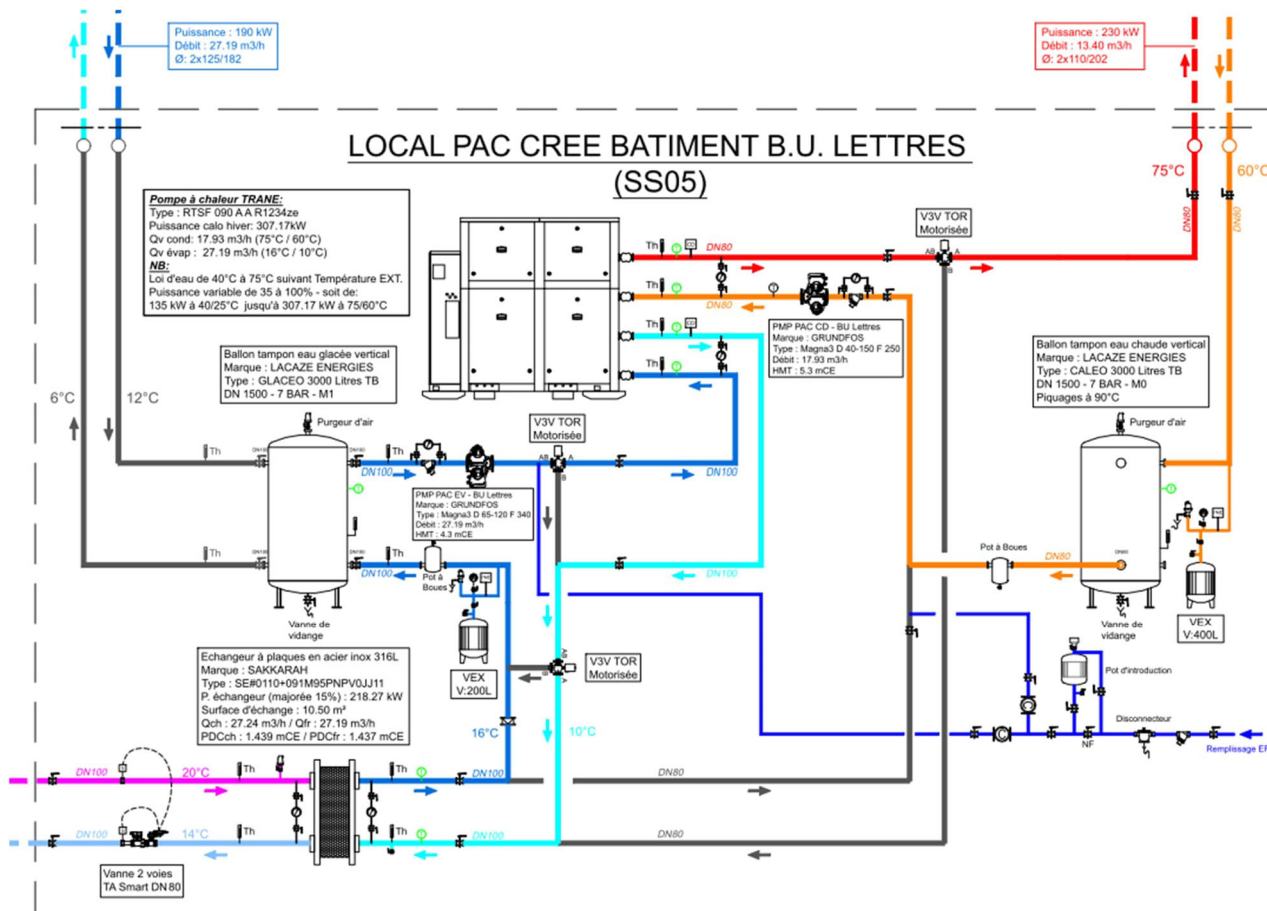


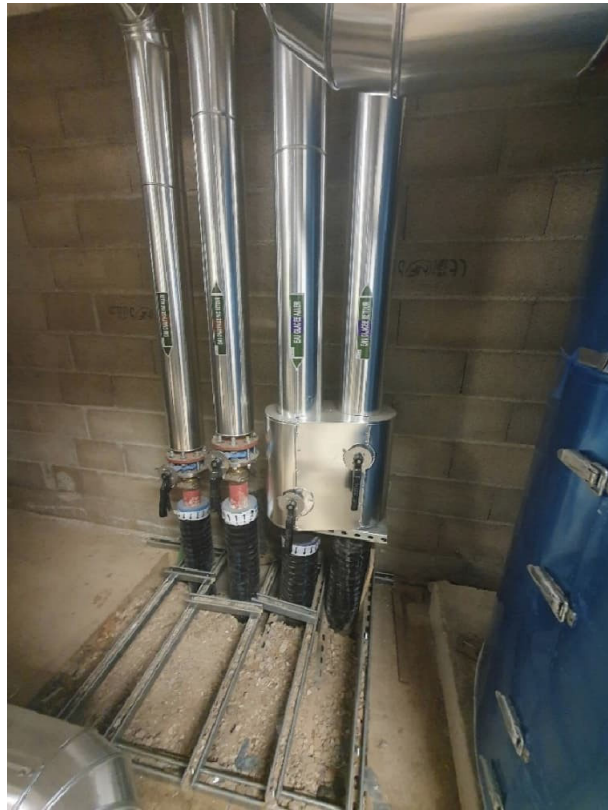
Schéma d'un local PAC extrait du DOE



une PAC et ses raccordements



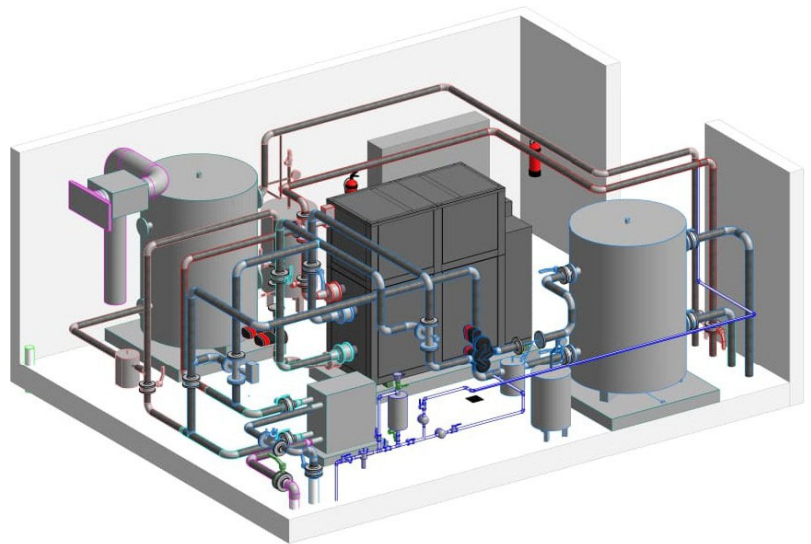
ballons tampons



départs chaud et froids vers les sous-stations



échangeur de chaleur entre BET et PAC



Vue 3D d'une sous-station

II.2.6 Chaufferie

La chaufferie, accolée au local atelier, est équipée de 3 chaudières gaz de 1 MW chacune qui alimentent l'ancien réseau de chaleur. Ces mêmes chaudières permettent actuellement de maintenir la boucle d'eau tempérée à une température proche de 20°C via un échangeur de chaleur. Cette situation est provisoire dans l'attente de la production géothermique.

Pour cela, deux piquages ont été réalisés sur la bouteille de découplage du réseau de chaleur selon le schéma suivant :

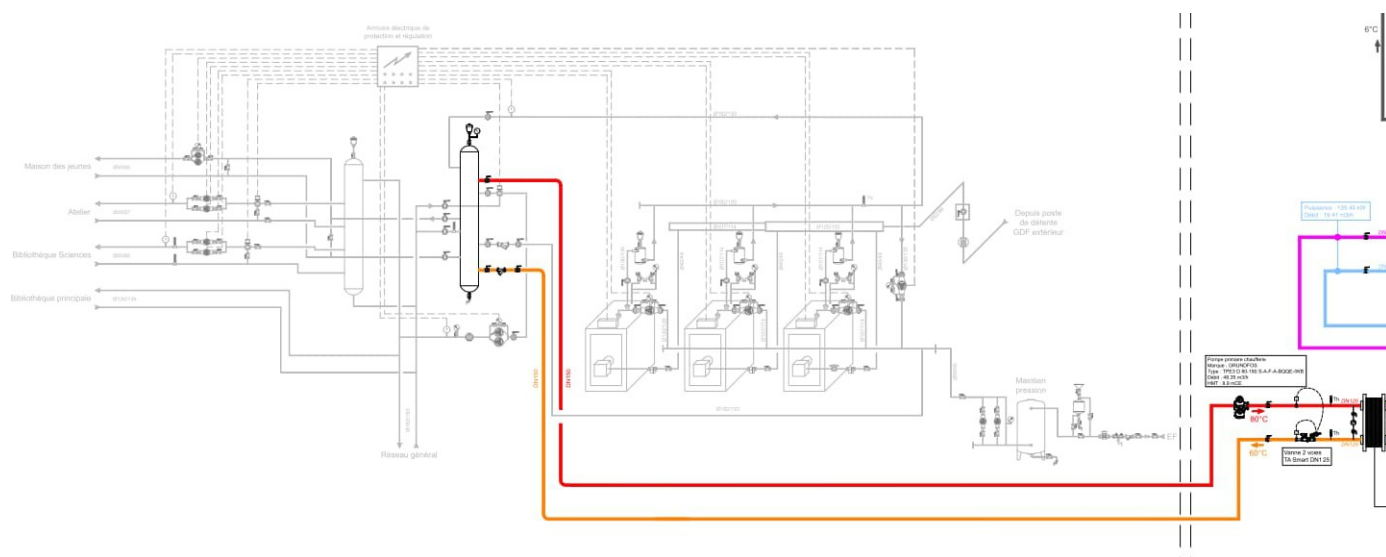


Schéma de la chaufferie extrait du DOE



deux des trois chaudières de la chaufferie



pompes d'alimentation de l'ancien réseau de chaleur

II.3 Etudes déjà réalisées

Afin de connaître les caractéristiques du sous-sol, un test de réponse thermique a été réalisé.

Celui-ci a mis en évidence une conductivité thermique du sous-sol de **2,05 W/m.°K** et une capacité thermique pondérée de **2,1 MJ/m³.°K**.

Une étude de faisabilité technico-économique a également été réalisée afin de dimensionner les sondes géothermiques et d'étudier la rentabilité financière de l'installation.

Le site a été analysé. Il ressort que celui-ci est situé en zone verte au titre de la GMI (Géothermie de Minime Importance). Le projet ne nécessite donc pas de dossier d'expertise GMI.

L'étude a été faite sur la base d'une simulation énergétique dynamique de l'ensemble des bâtiments raccordés à la BET dans l'hypothèse d'une rénovation énergétique de l'ensemble des bâtiments.

L'étude a permis de comparer 2 solutions, une solution classique sur sondes verticales espacées chacune de 8 mètres, et une solution innovante sur sondes déviées (inclinées entre 0 et 20°).

La solution sur sondes déviées permet de réduire l'emprise des sondes en surface tout en maximisant l'échange de chaleur avec le sol et permettre ainsi un linéaire total de sondes plus faible pour la même quantité de chaleur extraite du sol. Elle a été estimée à un coût inférieur à la solution sondes verticales et semble donc intéressante.

Dans le cas d'un maintien de la boucle à 20°C ; les besoins thermiques à fournir à la boucle tempérée sont les suivants :

	Puissance maximale	Energie
Besoins chaud	810 kW	574 MWh
Besoins froid	1152 kW	141 MWh

Les besoins de la boucle couverts par la géothermie sont les suivants (appoint effectué avec de l'aérothermie) :

	Puissance maximale	Energie
Besoins chaud	356 kW	518 MWh
Besoins froid	426 kW	120 MWh

L'étude a conclu à un besoin d'installation de **30 sondes** géothermiques de 200 mètres de profondeur dans le cas de la solution sur sondes déviées, et de **40 sondes** de 200 mètres dans le cas de la solution sur sondes verticales.

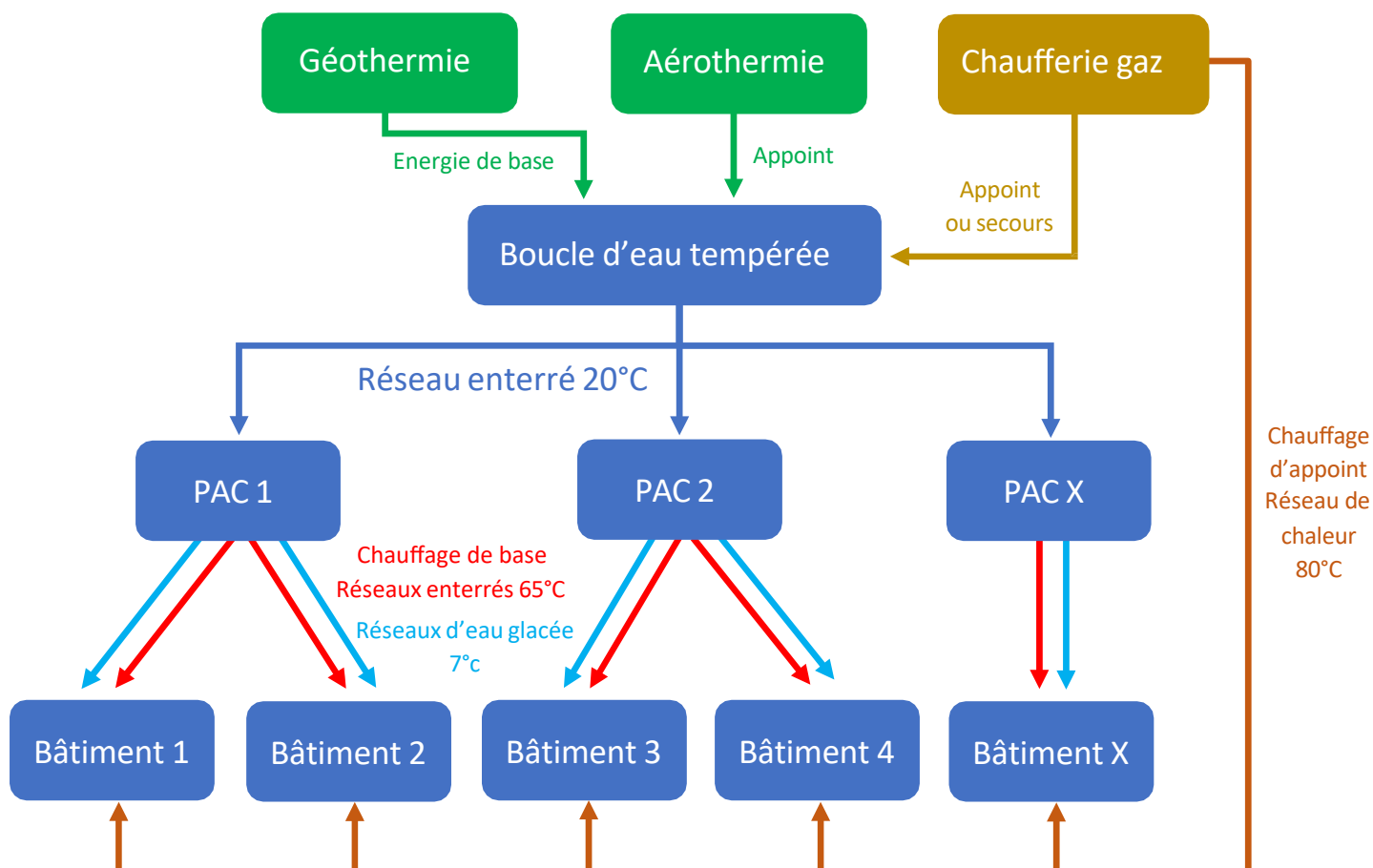
L'énergie extraite du sol et la suivante :

	Puissance maximale	Energie	SCOP/EER
Besoins chaud	300 kW	437 MWh	6.4
Besoins froids	490 kW	139 MWh	6.5

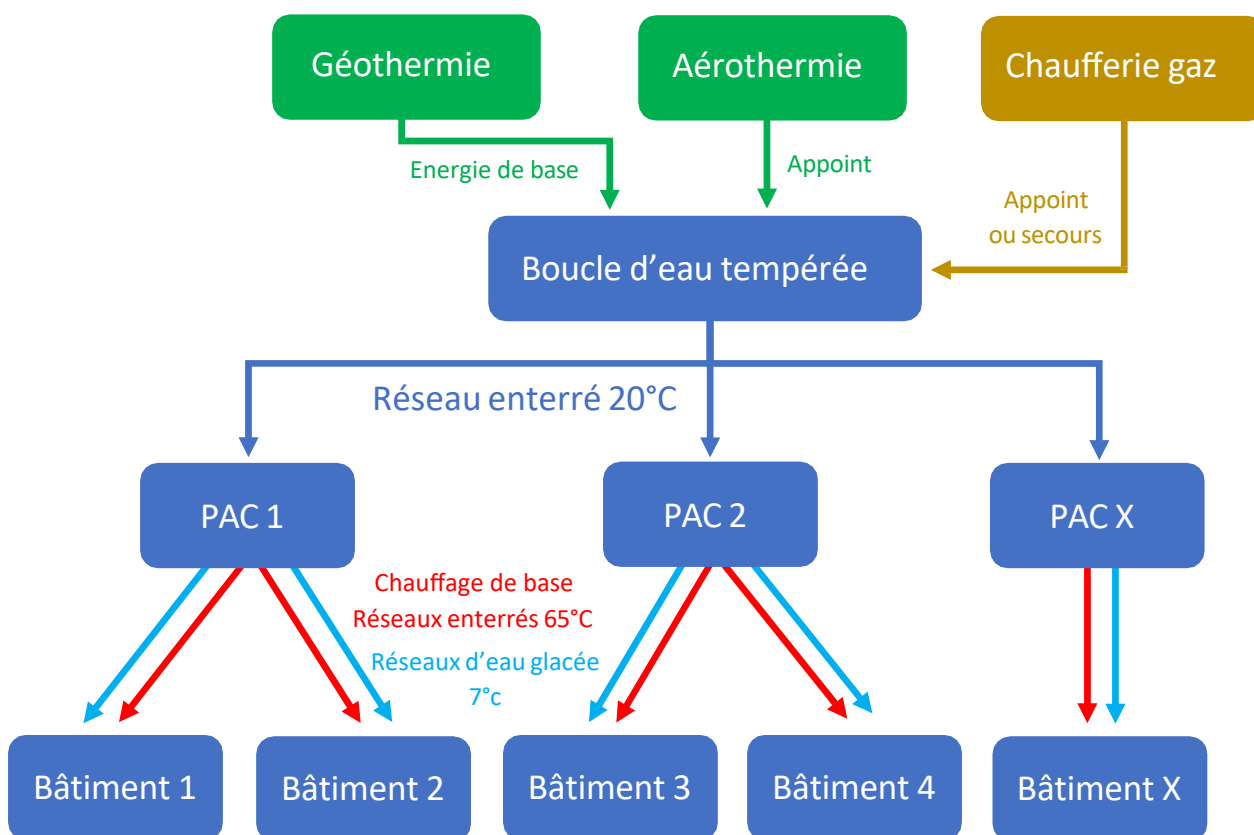
II.4 Caractéristiques attendues de l'installation de géothermie

La géothermie a pour but de remplacer la chaufferie gaz comme source d'énergie principale.

Ci-après le schéma synthétique du fonctionnement de l'installation après installation de la géothermie :



Une fois l'ensemble des bâtiments rénovés, le réseau de chaleur pourra être définitivement condamné :



Compte tenu du nombre de sondes prévues (30 ou 40), et de l'espacement nécessaire entre chacune des sondes, L'emplacement prévisionnel des sondes et du local technique se situe à proximité du bâtiment Y sur le parking principal.

Le raccordement au réseau existant est prévu au niveau du local PAC bâtiment F ; des vannes sont en attente à proximité.



Zone d'implantation des sondes et du local technique

II.4.1 Réseaux / VRD

L'installation de géothermie devra être raccordée à l'installation existante depuis le local technique qui sera construit pour accueillir les installations hydrauliques.

Celui-ci sera en principe situé entre 100 et 200 mètres du réseau en attente.

Le projet devra donc prévoir une prolongation du réseau enterré de la boucle d'eau tempérée existante jusqu'au futur nouveau local.

Les tuyaux devront être compatibles avec l'installation existante. Ils devront avoir les caractéristiques nécessaires de durabilité et de comptabilité pour fonctionner aux conditions de pression et de température requises par l'installation.

Ils devront être dimensionnés dans le but de réduire au maximum les pertes de charges permettant ainsi de réduire les consommations des pompes.

Les réseaux d'alimentation d'électricité chemineront enterrés entre le nouveau local et les TGBT et/ou postes de transformations à proximité.

Les réseaux informatiques chemineront entre le nouveau local et les bâtiments à proximité

Le projet devra prévoir l'ensemble des éléments nécessaires à ces prestations, notamment, les tranchées, fourreaux, réseaux, câblages, et remise en état de la voirie.

Des fourreaux vides en réserve devront être prévus.

Les raccords devront être préférentiellement électro soudés. Dans le cas de raccords mécaniques, des regards de visite devront être prévus.

II.4.2 Bâtiment

Un local est à construire dans le cadre du projet. Ce local permettra d'héberger les équipements nécessaires à l'installation de géothermies tels que :

- Les pompes à chaleur.
- L'hydraulique.
- Les ballons tampons.
- Les armoires électriques.

Il devra être conçu de manière à préserver l'harmonie architecturale du site. Il devra être isolé thermiquement sur toutes ses faces donnant directement sur l'extérieur.

Les portes d'accès devront être de dimensions suffisantes pour pouvoir remplacer l'ensemble des équipements se trouvant à l'intérieur.

Il devra être éclairé et ventilé conformément à la réglementation en vigueur.

Des dispositions particulières devront être prises afin de minimiser au maximum les nuisances sonores pouvant être générées par les équipements (isolation phonique, socles anti-vibratile, pièces à son...). Le maître d'œuvre devra être particulièrement attentif aux nuisances pouvant être générées envers le voisinage.

Les caractéristiques dimensionnelles du local devront être telles qu'il sera aisé de circuler autour des équipements afin d'y réaliser la maintenance.

II.4.3 Echangeur

L'interface entre la BET et la géothermie devra obligatoirement se faire à travers un échangeur de chaleur. En effet, compte tenu du volume très important de la BET et que celle-ci est intégralement enterrée, il n'a pas été prévu d'intégrer de composant anti-gel au fluide caloporteur de la boucle.

II.4.4 Sondes géothermiques

Les sondes géothermiques pourront être soit des sondes verticales, soit des sondes déviées.

La surface disponible sur le parking accolé au bâtiment Y est suffisante pour les deux technologies.

Le choix de la technologie employée sera donc fait en fonction du coût d'investissement et de l'impact des travaux sur la vie du campus.

De plus, afin de respecter les règles en vigueur concernant la concurrence sur les marchés publics, il n'est pas possible de verrouiller une technologie spécifique de forage (sondes déviées notamment).

C'est pourquoi, le choix ne pourra se faire qu'une fois réalisée l'analyse des réponses des entreprises à la consultation du marché de travaux.

Le projet devra donc prévoir les deux variantes technologiques.

Liaisons entre champ de sonde et local technique.

Les sondes pourront être reliées entre elles et avec le bâtiment par des linéaires de tuyaux, en PEHD, installés en tranchées.

Les sondes devront être reliées préférentiellement en parallèle afin de limiter les pertes de charges des circuits. Les débits dans les sondes devront aussi être établis de manière à réduire les pertes de charges, mais veilleront à maintenir des régimes suffisamment turbulents pour faciliter les échanges avec le sol (notamment dans les phases de fonctionnement à débit réduit).

En cas de distance trop importante, le montage pourra être combiné série/parallèle. Les sondes en séries devront pouvoir être bypassées.

Les raccords devront être préférentiellement électro soudés. Dans le cas de raccords mécaniques et pour les collecteurs, des regards de visite devront être prévus.

Les sondes pourront être reliées directement dans le local technique ou dans une chambre d'accès si la distance du champ de sondes au bâtiment est trop importante.

Les nourrices devront être équipées de vannes d'isolation sur chaque circuit, d'une vanne de purge pour l'air et d'un filtre.

Afin de faciliter l'équilibrage, en plus de vannes d'équilibrage à chaque départ de sonde, l'installation devra être conçue de sorte à obtenir des longueurs de tuyaux équivalentes entre chaque sonde (raccordement en tichelmann).

II.4.5 Pompes à chaleur / échangeurs

Il est prévu l'installation d'une PAC géothermique entre le champ de sonde et la BET.

L'installation ne pouvant pas assurer 100 % des besoins chaud sans engendrer des surinvestissements, un appoint assuré par une ou plusieurs PAC aérothermique devra être prévu.

La caractéristique principale de la BET est sa basse température, qui permet entre autres de supprimer les pertes thermiques comparé à un réseau de chaleur classique à plus haute température. Cette caractéristique permet notamment de s'affranchir de l'isolation des conduites de distribution enterrées.

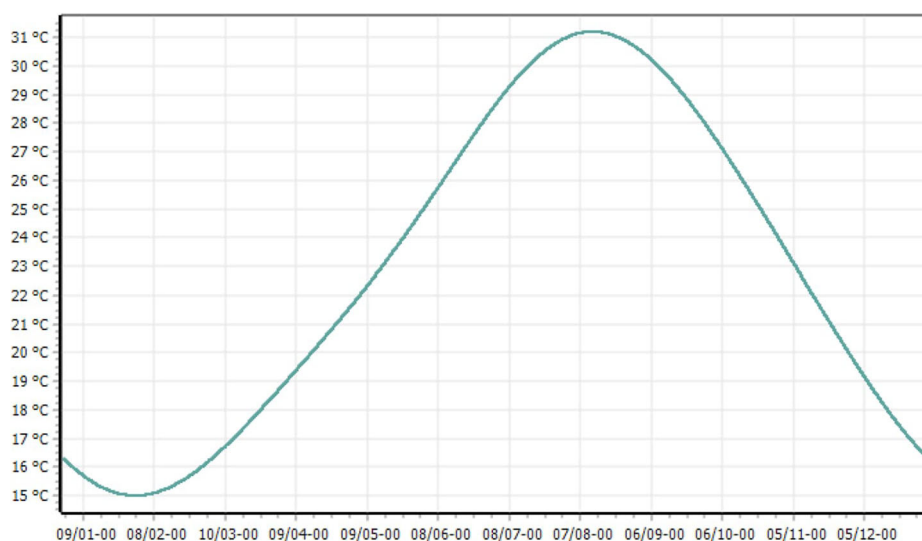
La consigne actuelle de la boucle d'eau tempérée sortie chaufferie est de 20°C.

L'ensemble des PAC installées entre la BET et les sous-stations bâtiments ont été dimensionnées sur la base de cette température de boucle et d'un régime évaporateur de 16°C/10°C.

Cependant, il peut arriver pendant les mois d'hivers les plus froids que la température du sol soit inférieure à 20°C ce qui générera des pertes de chaleur même si celles-ci sont limitées. C'est notamment le cas pour les mois de décembre, janvier, février et mars.

Ci-après les températures du sol à la profondeur à laquelle se situe la boucle :

Evolution de la température du sol à 1,5 m de profondeur à Perpignan



	Tmoy	Tmin	Tmax
janv	15,4 °C	15,0 °C	16,3 °C
févr	15,4 °C	15,0 °C	16,1 °C
mars	17,3 °C	16,1 °C	18,6 °C
avr	20,1 °C	18,6 °C	21,5 °C
mai	23,2 °C	21,5 °C	24,9 °C
juin	26,7 °C	24,9 °C	28,5 °C
juil	30,0 °C	28,5 °C	31,0 °C
août	31,0 °C	30,6 °C	31,2 °C
sept	29,3 °C	27,7 °C	30,6 °C
oct	25,7 °C	23,7 °C	27,7 °C
nov	21,6 °C	19,6 °C	23,6 °C
déc	17,9 °C	16,4 °C	19,6 °C

Afin de supprimer totalement les pertes thermiques, il apparaît donc utile de fixer la consigne de la BET plutôt à 15°C maximum en période de chauffage.

Compte tenu que les PAC installées en aval de la BET ont généralement des puissances supérieures aux besoins aux conditions de fonctionnement initiales (cf. II.2.5 - Locaux pompes à chaleur), elles sont probablement suffisamment dimensionnées pour permettre cette légère baisse de la température au condenseur en toutes circonstances.

De plus, dans la quasi-totalité des bâtiments, il est prévu le remplacement des radiateurs par des systèmes de restitution à air de type ventilo-convecteurs. Ce remplacement permettra d'une part de faire de la climatisation dans les locaux en été, mais aussi d'abaisser la température des réseaux de restitution en mode chauffage (passage d'un régime 60°C/45°C à un régime 45°C/40°C°). Par ailleurs, les régimes de températures des réseaux de restitution considérés pour le dimensionnement des PAC sont ceux correspondant aux conditions de base les plus froides.

Cet abaissement de température côté restitution permettra d'abaisser la température côté condenseur et/ou d'augmenter les SCOP des PAC.

Les PAC doivent donc pouvoir fonctionner avec une température au condenseur inférieure à 10°C pendant au moins une partie de la saison de chauffe, ce qui pourrait, en plus de supprimer totalement les pertes de la BET, de permettre à l'installation de fonctionner pendant ces périodes directement sur les sondes géothermiques sans passer par à une PAC géothermique.

En limitant la mise en route de la PAC géothermique et de son appoint uniquement aux périodes les plus froides, cela pourrait permettre de réduire certaines pertes de fonctionnement, notamment sur des régimes à charge partielle et réaliser ainsi des économies d'énergie supplémentaires.

Une baisse de la température de la BET s'accompagnera d'une baisse du SCOP des PAC en aval de la BET, mais sera compensée par une augmentation du SCOP de l'installation géothermique.

De plus, en réduisant la température de la BET, cela permettra également à celle-ci de fonctionner en tant qu'échangeur géothermique et éventuellement de récupérer des calories supplémentaires directement dans le sol.

La nouvelle installation devra donc permettre de bypasser la PAC géothermique quand celle-ci n'est pas nécessaire et permettre aux PAC en aval de la BET d'assurer leur service de chauffage seules quand les conditions sont favorables.

Il en va de même pour la période estivale intermédiaire où la PAC géothermique devra pouvoir être bypassée permettant à l'installation de fonctionner uniquement sur les PAC en aval de la BET.

C'est pourquoi, l'installation devra comporter les éléments principaux suivants :

- Un échangeur géothermique faisant l'interface avec la BET permettant l'échange sondes/BET ou l'échange PAC géothermique/BET selon les besoins.
- Une ou plusieurs PAC géothermiques maintenant une consigne minimale sur la boucle, et mises en route quand l'échange direct ne suffit plus. Cette consigne pourra être modulée sous la forme d'une loi d'eau avec une température maximale permettant d'éviter des pertes dans la BET. Le recours à plusieurs PAC permettrait de réaliser une cascade et réduire les court-cycles.
- Une ou plusieurs PAC aérothermiques en cascade permettant de faire l'appoint terminal pendant les périodes le plus froides où les sondes géothermiques ne sont plus suffisantes.

II.4.6 Hydraulique

Tous les échangeurs devront être prévus à plaques en inox et à joints permettant leur démontage éventuel.

L'installation devra être pourvue de ballons tampons dimensionnés en fonction du régime minimal de fonctionnement des PAC géothermiques et aérothermiques et du volume d'eau de l'installation. Ils permettront d'assurer des temps de fonctionnement consécutifs suffisamment long pour garantir la meilleure performance et la longévité du matériel.

Les canalisations devront être conçues de manière à réduire au maximum les pertes de charges afin de réduire les consommations des auxiliaires tout en maintenant des régimes suffisamment turbulents pour faciliter les échanges.

Les différents modes de fonctionnements impliquant des cheminements hydrauliques différents seront mis en œuvre via des vannes 3 voies motorisées pilotées automatiquement.

Toutes les pompes devront être équipées de moteurs base consommation et devront pour fonctionner à débit variable.

Des pompes de charge sur la BET depuis l'installation géothermique devront être prévues si les pompes actuelles de circulation de la BET ne sont pas suffisantes pour permettre un débit suffisant sur l'échangeur géothermique. Ces pompes de charges éventuelles devront être pilotées de telle manière à pouvoir fonctionner en adéquation avec les pompes de circulation de la boucle actuelle, sans générer de perturbations hydrauliques sur le réseau.

Les équipements d'équilibrage devront être dynamiques pour s'adapter aux variations de débits.

Des compteurs d'énergie calorifiques seront installés et devront permettre de comptabiliser à minima :

- L'énergie calorifique fournie à la BET.
- L'énergie frigorifique fournie à la BET.
- L'énergie calorifique fournie par chacune des PAC géothermiques.
- L'énergie frigorifique fournie par chacune des PAC géothermiques.
- L'énergie calorifique fournie par le champ de sondes.
- L'énergie frigorifique fournie par le champ de sondes.
- L'énergie calorifique fournie par chacune des PAC aérothermiques.
- L'énergie frigorifique fournie par chacune des PAC aérothermiques.

Tous les éléments nécessaires à la sécurité et à la longévité de l'installation devront être prévus.

II.4.7 Isolation des équipements

Tous les équipements qui ne seront pas enterrés devront être isolés. Cette isolation sera revêtue de protections mécaniques type tôle alu.

L'isolation devra être continue afin d'une part de limiter les pertes thermiques, et d'autre part d'éviter les phénomènes de condensation. Pour cela, les colliers de fixations prévus devront être isolés. Des boîtes d'isolation devront également être prévues pour les pompes et les vannes.

II.5 Performance de l'installation

Objectifs impératifs

Les performances prévisionnelles de l'installation devront être à minima celles identifiées dans l'étude de faisabilité, soit :

- **SCOP¹ de l'installation de géothermie supérieur à 6,4 et un SERR supérieur à 6,5**
- **Un taux de couverture² des besoins de la BET par la géothermie supérieure à 90%**

Objectifs souhaités

La performance globale de la BETEG dans son état final (bâtiments rénovés) devra viser :

- Un SCOP³ machines supérieur à 4,5 et un SCOP⁴ système supérieur à 4.
- Un SEER³ machines supérieur à 5 et un SEER⁴ système supérieur à 4,5.

II.6 Articulation entre la géothermie et l'installation actuelle

Le projet de boucle d'eau tempérée à énergie géothermique est un seul et unique projet de modernisation du système de chauffage du campus du moulin à vent.

Celui-ci a été scindé en deux phases pour des considérations budgétaires.

C'est pourquoi, le prestataire de la présente mission d'ingénierie devra concevoir une installation de production géothermique qui s'articule parfaitement avec l'installation actuelle. Le but étant à terme de n'avoir qu'une seule et même installation.

Les équipements devront donc bien évidemment être dimensionnés en fonction de l'installation existante, par exemple les diamètres et longueurs des réseaux de la boucle, les pompes de circulations déjà en places, mais aussi des pompes à chaleur de la BET.

De même, le pilotage de la nouvelle installation de géothermie et de ses composants devra être parfaitement intégré à celui de l'installation existante permettant un pilotage global de l'installation finale.

S'il apparaît que certains éléments techniques sont manquants sur l'installation actuellement réalisée (la BET) pour pouvoir fonctionner correctement avec la géothermie, ces éléments devront être prévus dans le marché de travaux concernant la géothermie.

Il en va de même si l'installation actuelle présente des éléments devant être modifiés pour pouvoir fonctionner avec la géothermie.

¹ énergie fournie à la BET rapportée à la consommation électrique de la PAC géothermique hors auxiliaires.

² énergie fournie à la BET par la géothermie rapportée aux besoins de la BET.

³ énergie fournie aux bâtiments rapportée à la consommation électrique de toutes les PAC (PAC BET + PAC géothermique + PAC aérothermique) hors auxiliaires.

⁴ énergie fournie aux bâtiments rapportée à la consommation électrique de toutes les PAC (PAC BET + PAC géothermique + PAC aérothermique) y compris auxiliaires.

En cas de problème de fonctionnement de l'installation finale dû à un défaut de conception résultant d'une mauvaise articulation entre la boucle d'eau tempérée déjà réalisée et l'installation de géothermie, le maître d'œuvre du présent marché ne pourra se décharger de sa responsabilité sur l'installation existante. Il sera réputé avoir étudié cette installation avant la réalisation de sa propre mission d'ingénierie, et donc d'avoir pris en compte toutes ses caractéristiques.

Ces exigences ne s'appliquent pas pour les éléments ne relevant que des installations de la BET et ne concernant pas l'articulation et/ou les interactions entre la boucle d'eau et la géothermie (par exemple : le mauvais dimensionnement d'une pompe d'un circuit d'eau glacée).

II.7 Electricité

Toutes les alimentations électriques des équipements devront être centralisées dans une armoire dans le local technique nouvellement créé.

Cette armoire sera alimentée depuis les installations électriques les plus proches pouvant supporter la puissance nécessaire (TGBT des bâtiments à proximité ou transformateur le plus proche).

L'alimentation électrique cheminera enterrée jusqu'au local technique.

Le local devra être éclairé.

Les automates de régulations de la géothermie seront également situés dans l'armoire électrique du local technique.

II.8 Gestion technique centralisée

La gestion technique centralisée permettra de contrôler le fonctionnement des PAC, de piloter et commander le fonctionnement de l'ensemble des équipements motorisés (circulateurs, vannes motorisées, adaptation de puissances...).

Les automates de régulations devront être situés dans l'armoire électrique du local technique. Un écran de contrôle devra être prévu en façade.

La régulation sera élaborée à partir de l'analyse fonctionnelle du système. L'analyse fonctionnelle représente la projection des différents modes de fonctionnement de l'installation associée à la gestion / régulation des différents équipements motorisés (PAC, circulateurs, vannes motorisées, sondes de températures).

Régulation

Elle devra permettre le pilotage et la régulation des éléments suivants (non exhaustif) :

- La position des vannes 3 voies en fonction du mode de fonctionnement (chaud, froid, PAC ou direct sur sondes).
- La mise en route et la régulation des pompes de charges des PAC.
- La mise en route et la régulation des pompes de circulation sur la boucle.
- La mise en route et la régulation des pompes du champ de sonde.
- La mise en route, le mode de fonctionnement, le pilotage et la cascade des PAC géothermiques.
- La mise en route, le mode de fonctionnement, le pilotage et la cascade des PAC aérothermiques.

Comptage

Elle devra permettre la collecte, la centralisation et l'analyse des données de consommations des systèmes nouvellement installés. L'ensemble des compteurs d'énergie calorifiques et électriques devront donc être raccordés à la GTC.

Elle devra réaliser des bilans périodiques automatiques des consommations et produire des indicateurs de performance de l'installation (SCOP PAC, SCOP y compris auxiliaires...).

Alarmes

Les alarmes techniques de dysfonctionnement des équipements devront être renvoyées aux services techniques de l'UPVD pour qu'ils soient avertis en temps réel.

Des alarmes de dérives de consommations ou de performances anormales devront également être renvoyées automatiquement aux services techniques en cas d'apparition.

Informations / Mesures

Les informations de pression et de températures aux points stratégiques de l'installation devront pouvoir être collectées automatiquement. Pour cela, des sondes devront être prévues.

La pression à minima devra être mesurée sur le circuit des sondes géothermiques, et sur le circuit entre PAC et l'échangeur sur la BET.

Des sondes indicatives de température permettront de déterminer la température du sol à 1.5 mètres de profondeur.

Les températures des différents circuits devront être mesurées par des sondes avec à minima :

- Les 4 piquages de l'échangeur sur la boucle.
- Les 4 piquages des PAC eau/eau
- Les 2 piquages des PAC air/eau
- Les départs et retours des sondes géothermiques.

La GTC de la nouvelle installation devra être totalement intégrée à la GTC réalisée sur la BET existante.

Les nouveaux équipements, leur régulation et leur pilotage devront donc être prévus pour fonctionner en adéquation avec l'installation existante. Ils devront donc être de même marque/ modèle que l'installation existante.

S'il est nécessaire de modifier le fonctionnement de l'installation existante pour un fonctionnement global plus optimisé, les modifications devront être prévues au marché de travaux.

Le dispositif de supervision actuel de l'installation sera complété avec les équipements de l'installation de géothermie.

Il devra donc être possible de visualiser et de configurer sur la même interface la totalité de l'installation de la BETEG.

La GTC sera raccordée sur le réseau informatique de l'UPVD et la supervision pourra être interrogée à distance depuis différents postes (à définir avec l'UPVD).

Décret BACS

Elle devra être conforme au décret BACS et permettre notamment de :

- Suivre, enregistrer et analyser en continu et à un pas de temps horaire les données de production et de consommation énergétique des systèmes techniques et les ajuster en conséquence suivant les consignes, les scénarios et les optimisations possibles.
- Situer l'efficacité énergétique des systèmes par rapport à des valeurs de référence.
- Détecter les pertes d'efficacité des systèmes techniques et informer l'exploitant du site pour permettre l'analyse de la situation et l'amélioration de l'efficacité énergétique.
- Être interopérable avec les différents systèmes techniques des bâtiments.
- Permettre un arrêt manuel et la gestion autonome des systèmes techniques reliés à la GTC.

Actuellement, seuls sont raccordés à la GTC de la BET les consommations de chauffage, de la future climatisation sur eau glacée, et les auxiliaires de distribution.

La majorité des bâtiments de l'UPVD sont soumis au décret BACS du 20 juillet 2020.

Lors des rénovations énergétiques de chacun des bâtiments, des compteurs d'électricité permettant de compter les autres usages soumis au décret seront installés dans les armoires électriques (éclairage, ventilation, ECS...). Il est nécessaire qu'à terme, chacun de ces compteurs puisse être interrogé par la GTC.

Par ailleurs, les équipements spécifiques aux bâtiments soumis au décret (par exemple les CTA) devront également à terme être pilotables directement depuis la GTC.

La GTC devra donc pouvoir être interopérable avec des systèmes qui seront installés ultérieurement dans les bâtiments.

II.9 Normes et réglementation

L'installation devra être conçue de manière à respecter la réglementation et les normes en vigueur, notamment :

- Le décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains modifié par le Décret n° 2015- 15 du 8 janvier 2015 modifiant le décret n° 78-498 du 28 mars 1978 modifié relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie, décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains, l'annexe de l'article R. 122-2 et l'article R. 414-27 du code de l'environnement.
- Le décret n°78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie.
- L'arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités de géothermie de minime importance.
- L'arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance complété par l'Arrêté préfectoral régional du 8 août 2018
- L'arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif à la qualification des entreprises de forage
- L'arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif à l'agrément d'expert en matière de géothermie de minime importance
- L'arrêté ministériel du 4 septembre 2015 modifié portant agrément des experts en matière de géothermie de minime importance
- La norme NF X10-960
- La norme NF X10-970

III DIMENSIONNEMENT DES EQUIPEMENTS

Le dimensionnement et la conception de l'installation devront être réalisés dans le but de maximiser la performance énergétique de l'installation. Les régimes de température choisis devront permettre de maximiser les SCOP des PAC et de minimiser les pertes thermiques des réseaux ainsi que les consommations des circulateurs.

III.1 Vérification du dimensionnement en régime statique

Afin de dimensionner avec précision la PAC géothermique, son appoint, et les sondes, il est nécessaire dans un premier temps de vérifier les puissances et les COP/EER en régime statique des PAC en aval de la BET déjà installées avec de nouvelles hypothèses de régimes de températures.

Le maître d'œuvre devra donc consulter le fabricant des PAC afin d'obtenir les valeurs de ces nouveaux points de fonctionnement.

Il devra reprendre le dimensionnement des PAC installées avec des régimes de températures condenseurs plus bas, afin de définir les températures de la boucle les plus favorables, et la nécessité de recourir à une PAC géothermique pour réchauffer celle-ci.

Les puissances et COP en mode chaud des PAC devront être étudiées pour les régimes suivants :

PAC BET ; Condenseur : 65/50 °C ; Evaporateur 10/5°C

Ce régime correspond à une utilisation de la boucle située en dessous de 15°C et ne générant donc pas de pertes en hivers tout en conservant les radiateurs.

PAC BET ; Condenseur : 50/45 °C ; Evaporateur 10/5°C

Ce régime correspond à une utilisation de la boucle située en dessous de 15°C et ne générant donc pas de pertes en hivers. Le régime condenseur 50/45 °C est envisageable en cas de remplacement des radiateurs par des ventilo-convecteurs. Cette situation ne peut fonctionner qu'une fois tous les bâtiments rénovés.

PAC BET ; Condenseur : 50/45 °C ; Evaporateur 0/-3°C

Ces régimes de températures correspondent à un remplacement des radiateurs par des ventilo-convecteurs dans les conditions les plus défavorables situées aux températures minimales acceptées par la réglementation dans les sondes géothermiques. Si les PAC actuelles permettent de fonctionner à ces régimes de températures et que les puissances sont suffisantes pour assurer les besoins des bâtiments (peu probable), cela signifie que la PAC géothermique n'est pas nécessaire et que seul un appoint via une PAC aérothermique peut être réalisé. Cette situation ne peut fonctionner qu'une fois tous les bâtiments rénovés.

PAC géothermique ; Condenseur : 20/15 °C ; Evaporateur 0/-3°C

Ce régime de température correspond au fonctionnement de la ou les PAC géothermiques en maintien de la BET à 15°C dans les conditions les plus défavorables.

PAC aérothermique ; Condenseur : 20/15 °C ; Evaporateur -4°C

Ce régime de température correspond au fonctionnement de la ou les PAC aérothermiques d'appoint en maintien de la BET à 15°C dans les conditions les plus défavorables.

Les points de fonctionnements de toutes les PAC devront également être établis en mode froid.

III.2 Dimensionnement de l'installation de géothermie

La méthode de dimensionnement implique une simulation couplée entre tous les éléments constitutifs du système.

Le dimensionnement des sondes et des PAC devra donc être **impérativement réalisé avec une méthode de simulation dynamique** prenant en compte :

- les charges thermiques horaires des bâtiments,
- les futures températures des réseaux de restitution des bâtiments et leurs variations (lois d'eau),
- les performances dynamiques des PAC en aval de la BET,
- les charges thermiques horaires de la boucle d'eau tempérée,
- les performances dynamiques des équipements (échangeurs, PAC géothermiques, PAC aérothermiques),
- le comportement thermique du sol,
- les interactions entre les sondes.

Il devra permettre de statuer sur l'équilibre thermique du champ de sondes sur le long terme.

Il devra justifier du respect de l'arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités de géothermie de minime importance qui impose une température du fluide dans les sondes situées entre - 3°C et +40°C.

Il devra permettre de calculer SCOP de l'installation de géothermie et le SCOP global de l'installation avec et sans les auxiliaires.

Il est important que le dimensionnement des sondes prenne en compte l'ensemble de l'installation et notamment les futurs régimes de dimensionnement des émetteurs. En effet, une baisse de la température côté émetteur induit une augmentation du SCOP global de l'installation et donc une augmentation de la chaleur à extraire du sol et du nombre de sondes géothermiques.

Le maître d'œuvre devra également dimensionner l'ensemble des réseaux et équipements hydrauliques de l'installation. Il devra pour cela réaliser des calculs de pertes de charges des réseaux afin de définir leurs courbes de fonctionnement.

Les circulateurs seront dimensionnés sur la base des débits nécessaires et des calculs des pertes de charge des réseaux.

III.3 Electricité

Le maître d'œuvre devra dimensionner toutes les installations électriques du projet. Il devra donc définir :

- L'alimentation générale du local technique géothermie, ses protections et ses câbles d'alimentation.
- Les caractéristiques et les emplacements des armoires électriques (avec suffisamment de réserve pour des équipements futurs).
- Les protections de l'ensemble des circuits.
- Les sections et cheminements des câbles.
- L'éclairage normal et de sécurité du local technique.
- Les compteurs d'électricité communicants raccordés sur la GTC

Les compteurs électriques seront prévus et devront compter à minima :

- Les consommations électriques globales de l'installation.
- Les consommations de chacune des pompes à chaleur installées.
- Les consommations des pompes de circulation