



Pôle Patrimoines

Rapport d'étude

07/11/2024

Étude de faisabilité pour le remplacement de la chaufferie du restaurant – IMT Mines Albi



SOMMAIRE

1	GLOSSAIRE.....	3
2	PREAMBULE	4
3	RESULTATS DE L'AUDIT	6
3.1	INSTALLATIONS TECHNIQUES	6
3.2	DISTRIBUTION DE CHAUFFAGE ET ECS.....	7
3.3	REGULATION DU RESEAU DE CHAUFFAGE.....	9
3.4	PRODUCTION ET DISTRIBUTION ECS	10
3.5	SYNTHESE ETAT DES LIEUX.....	11
4	ANALYSE DES CONSOMMATIONS	13
5	FAISABILITÉ DES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS.....	14
5.1	HYPOTHESES GÉNÉRALES	14
5.2	IMPLANTATION	15
5.3	SCENARIO 1 : SANS INSTALLATION SOLAIRE THERMIQUE.....	16
5.3.1	Option 1 : PAC classique de 40 kW	16
5.3.2	Option 2 : Mise en place d'une PAC haute température de 40 kW	22
5.4	SCÉNARIO 2 : AVEC INSTALLATION SOLAIRE THERMIQUE	26
5.4.1	Option 3 : PAC classique de 40 kW	27
5.4.2	Option 4 : Mise en place d'une PAC haute température de 40 kW	33
5.5	SCENARIO 3 : GEOTHERMIE SUR SONDES.....	37
5.5.1	Option 5 : sans réduction des consommations	38
5.5.2	Option 6 : avec réduction des consommations de 30%	41
5.6	BILAN DES OPTIONS ET VARIANTES	44
6	RESEAU DE CHALEUR INTERNE.....	46
7	CONCLUSION	48
8	ANNEXES	50
8.1	ANNEXE 1 – CONSOMMATION JOURNALIERE ECS	50
8.2	ANNEXE 2 – CONSOMMATIONS DU RESTAURANT	51
8.3	ANNEXE 3 – PHOTOGRAPHIES SONDES GEOTHERMIQUES.....	52

1 GLOSSAIRE

CEE : certificats d'économies d'énergie

CTA : Centrales à traitement d'air

DJU : Degrés jour unifiés

ECS : Eau chaude sanitaire

ml : mètre linéaire

PAC : Pompe à chaleur

PCS : Pouvoir calorifique supérieur

PV : Panneaux photovoltaïques

2 PREAMBULE

L'école des Mines d'Albi (IMT Mines Albi-Carmaux) est une école d'ingénieurs française, située sur la commune d'Albi. Le site de l'école comprend un grand bâtiment pour les enseignements, un gymnase, des résidences étudiantes ainsi qu'un restaurant pour assurer les repas quotidiens.

C'est dans le cadre de ce dernier bâtiment que l'IMT Mines d'Albi a mandaté la société SACET pour la rénovation de la chaufferie du restaurant. En effet, aujourd'hui alimentée à 100% au gaz, l'école souhaite remplacer la majorité de cette production gaz par d'autres sources d'énergies.

Pour un meilleur aperçu de la géographie du site, une vue satellite des bâtiments est présentée :

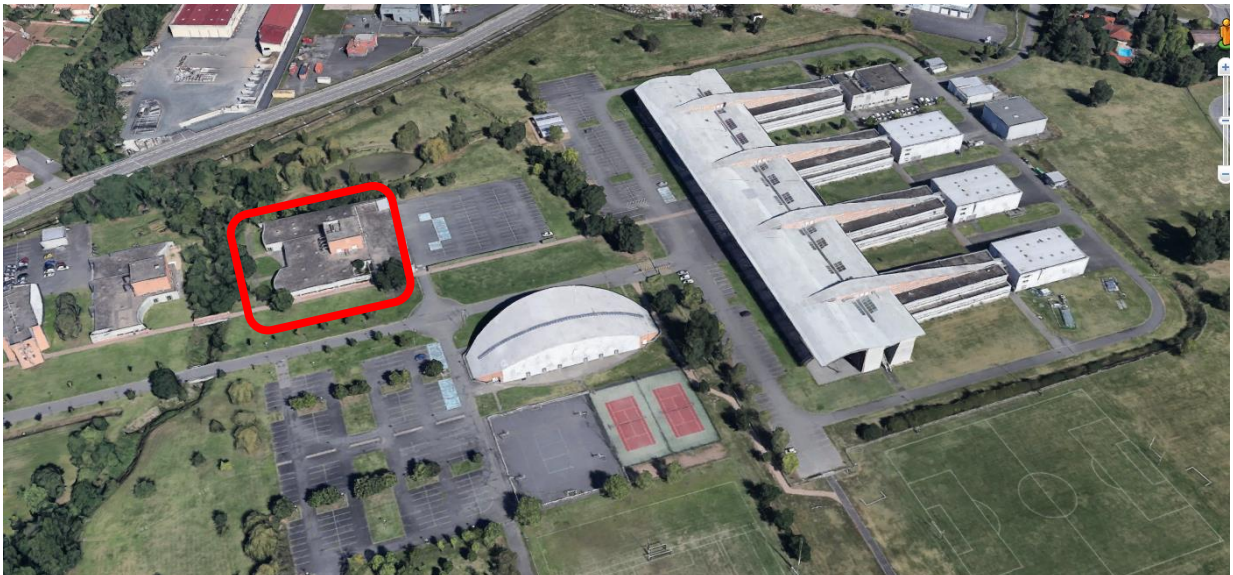


Figure 1 : Vue satellite du site

Le restaurant est situé au centre du site, entre les résidences étudiantes et le bâtiment principal. La chaufferie est située dans un local technique en toiture. Elle produit de manière collective le chauffage et l'eau chaude sanitaire du restaurant. L'installation est équipée d'une seule production ECS et de 3 circuits chauffage desservants les cuisines, la salle à manger des élèves et les centrales à traitement d'air.

Le présent document constitue l'étude niveau APS présentant les pistes d'amélioration avec évaluation du coût d'investissement des travaux et des économies potentielles. Cette étude APS concerne les installations thermiques de la chaufferie qui dessert ce restaurant. L'objectif de cette étude est d'étudier différents scénarios pour le remplacement de la chaufferie gaz :

➤ **Scénario n°1 : Sans installation solaire thermique**

- **Option n°1** : Mise en place d'une PAC classique de 40 kW
 - Variante 1.a : Sans installation photovoltaïque
 - Variante 1.b : Avec installation photovoltaïque et autoconsommation de la PAC uniquement
- **Option n°2** : Mise en place d'une PAC haute température de 40 kW
 - Variante 2.a : Sans installation photovoltaïque
 - Variante 2.b : Avec installation photovoltaïque et autoconsommation de la PAC uniquement

➤ **Scénario n°2 : Avec installation solaire thermique**

- **Option n°1** : Mise en place d'une PAC classique de 40 kW
 - Variante 3.a : Sans installation photovoltaïque
 - Variante 3.b : Avec installation photovoltaïque et autoconsommation de la PAC uniquement
- **Option n°2** : Mise en place d'une PAC haute température de 40 kW
 - Variante 4.a : Sans installation photovoltaïque
 - Variante 4.b : Avec installation photovoltaïque et autoconsommation de la PAC uniquement

➤ **Scénario n°3 : Mise en place d'une production de géothermie sur sondes avec PAC eau/eau**

3 RESULTATS DE L'AUDIT

3.1 INSTALLATIONS TECHNIQUES

L'installation de production thermique, chauffage et ECS, est composée d'une chaufferie d'une puissance de 580 kW qui alimente le chauffage et l'ECS du restaurant. Quatre réseaux sont présents en chaufferie :

- Un réseau ECS restaurant,
- Un réseau chauffage pour les cuisines,
- Un réseau chauffage pour la salle à manger élèves,
- Une réseau chauffage pour les centrales à traitement d'air (CTA).

Du fait de la puissance inférieure à 1MW, la chaufferie n'est pas soumise aux dispositions de l'arrêté PIC.

La chaufferie est équipée de 2 chaudières identiques Guilloit Optimagaz, de 290 kW chacune, fonctionnant au gaz naturel. Les chaudières sont dans un bon état général. A noter que la seconde chaudière ne fonctionne qu'en secours, en cas de dysfonctionnement sur la première chaudière.

Un système de récupération de chaleur sur les groupes froids pour alimenter le circuit d'ECS a été installé en chaufferie. En dépit des équipements installés, cette solution n'a jamais été fonctionnelle.

Les équipements en chaufferie sont en bon état. Seules 2 servomoteurs (vannes 3 voies) sont en mauvais état (fuite, calcaire) mais sont en passe d'être remplacées (pièces de remplacement déjà sur place). En dehors des points mentionnés ci-dessus, aucun problème n'a été remonté de la part de l'exploitant présent lors de la visite.

Chaudière Gaz	
Combustible	Gaz
Implantation	R+1 (local dédié en toiture)
Chaudières n°1 et n°2	
Marque – Modèle	Guillot Optimagaz
Puissance utile	290 kW
Aperçu des chaudières	
 	

Concernant le local, il est conforme à la réglementation, hormis le groom de la porte qui doit être réparé.

3.2 DISTRIBUTION DE CHAUFFAGE ET ECS

Le système de distribution de chauffage se décompose en 4 circuits principaux (3 circuits chauffage et 1 circuit ECS). Les éléments constitutifs des circuits sont décrits ci-dessous :

Pompe circuit CTA	
Marque	Salmson
Modèle	JRL404-15/0.37
Type	Double
Pompe circuit chauffage cuisines	
Marque	Salmson
Modèle	NBMCXL 2050
Type	Double
Pompe circuit chauffage salle à manger	
Marque	Salmson
Modèle	D80-32/180

Type	Double
Pompe circuit ECS côté primaire	
Marque	Wilo
Modèle	DPL 40/160-0.37/4
Type	Double
Pompe circuit ECS côté secondaire	
Marque	Grundfos
Modèle	UPC 40-60
Type	Simple
Vanne 3 voies circuits chauffage cuisine et salle à manger (en cours de remplacement)	
Marque	Johnson controls
Modèle	VG7802NT

Aperçu des équipements



Pompe double circuit CTA



Pompe double circuit chauffage SAM



Pompe double circuit chauffage
cuisines



Pompe double circuit ECS

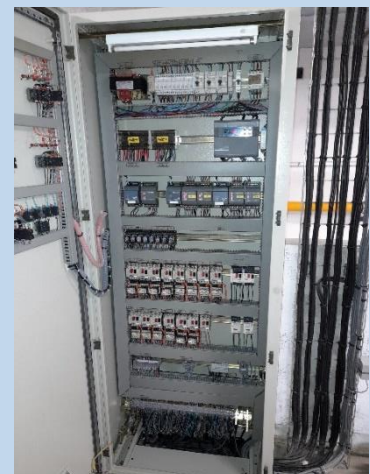
3.3 REGULATION DU RESEAU DE CHAUFFAGE

Les réseaux de chauffage sont régulés de façon hétérogène. En effet, les deux circuits de chauffage alimentant les radiateurs (cuisines et salle à manger) disposent chacun d'une vanne 3 voies munie d'un servomoteur et piloté par une régulation située dans l'armoire électrique. Le circuit CTA, quant à lui, n'est pas régulé puisqu'aucune vanne 3 voies n'est disposée. Ainsi, malgré des besoins de 60°C maximum dans les CTA, une température de 80°C (température de fonctionnement du circuit primaire) circule en permanence dans ces dernières.

Organe de régulation des 2 circuits chauffage (cuisines et SAM)

Marque	Johnson controls
Régime de fonctionnement	65°C par -5°C à l'extérieur 20°C par 20°C à l'extérieur
Type de régulation	En fonction de la température extérieure
Réduit de nuit	

Aperçu des équipements



Pour rappel, les 2 vannes 3 voies vont être remplacées dans les prochains mois. Les fuites qu'elles engendrent risquent d'endommager les pompes situées directement en dessous.

3.4 PRODUCTION ET DISTRIBUTION ECS

La production d'ECS est de type semi-instantanée avec un ballon de stockage de 1000 litres. L'échange d'énergie entre le primaire et le secondaire se fait par l'intermédiaire d'un échangeur à plaques. La régulation est réalisée via une vanne 3 voies disposée entre le retour primaire et l'aller primaire.

Vues des éléments



Ballon de stockage



Échangeur, pompe et
vanne 3 voies



Mitigeur thermostatique et
cordon chauffant

La distribution est réalisée entièrement en intérieur. Il est à noter :

- Qu'il n'y a pas de bouclage. Le maintien en température se fait grâce à un cordon chauffant
- L'installation possède un mitigeur thermostatique. Cet équipement n'est pas obligatoire d'un point de vue réglementaire et peu représenter des contraintes et des coûts d'exploitation complémentaires.

Enfin, la distribution bénéficie d'équipements de traitement d'eau (Adoucisseur).

3.5 SYNTHÈSE ETAT DES LIEUX

La synthèse de l'état des lieux est présentée ci-dessous :

Etat : 1 : Neuf 2 : Correct 3 : Mauvais 4 : Hors service ou à remplacer d'urgence									
Qté	Equipement	Caractéristique n°1	Caractéristique n°2	Caractéristique n°3	Marque	Référence	Année de mise en service	Vétusté	Remarque(s)
Equipements en chaufferie / sous-station									
	Pour les pompes, penser à prendre la HMT et le débit si compteur de calories								
	Production :								
1	Compteur gaz							2	
1	Pressostat gaz	Hydraulique					NC	2	
2	Chaudières	Sans condensation	PMS : 6 bar	Pn (80/60°C) : 287 kW	Guillot	Optimagaz 291	1995	2	
1	Pompe de charge	Chaudière N°1			Salmson	JRL 404.15/0.37		2	
1	Pompe de charge	Chaudière N°2			Salmson	JRL 404.15/0.37		2	
2	Soupape de sûreté	6 bar						2	
2	Conduit de fumée	Chaudières N°1 et 2						2	
1	Pressostat manque d'eau	départ général chaudières						3	
	Chauffage								
1	Disconnecteur	DN15						2	
1	Vase d'expansion	200 litres			Gitral	VVEF 200		1	
1	Circulateur circuit SAM élèves	Double	75W max		Salmson	D 80-32/180		2	
1	Vanne 3 voies circuit SAM élèves				Johnson controls	VG7802NT		2	Remplacement imminent
1	Servomoteur							2	
1	Circulateur circuit cuisines	Double	140W max		Salmson	NBMCXL 2050		2	
1	Vanne 3 voies circuit cuisines				Johnson controls	VG7802NT		4	Remplacement imminent
1	Servomoteur							2	
1	Circulateur circuit CTA	Double	370W max		Salmson	JRL404-15/0.37		2	
	ECS								
1	Pompe charge échangeur primaire	Double			Wilo	DPL40/160-0,37		2	
1	Pompe charge échangeur secondaire	Double	260W max		Grundfos	UPC 40-60 model A		2	
1	Ballon	7 bar	1000 litres		Lacaze			2	
NC	Cordons chauffants	Simple						2	
	Traitement d'eau								
1	Adoucisseur				Cillit	Rubis 45		2	
1	Compteur volumétrique ECS							2	
	Autre								
1	Armoire électrique	Chaufferie						2	
1	Régulation chauffage							2	
1	Télégestion					Johnson controls		2	

CONTRÔLE DES INSTALLATIONS TECHNIQUES

Etat :	1 : Neuf	2 : Correct	3 : Mauvais	4 : Hors service ou à remplacer d'urgence
--------	----------	-------------	-------------	---

Installations de distribution

	Existant	Etat
Etat des canalisations (points de rouille non traités)	Oui	2
Qualité du calorifuge dans les parties autres que la chaufferie / sous-station	Oui	2
Calorifugeage conforme: lièges et polystyrènes interdits	Oui	Sans objet

Fumisterie

	Existant	Etat / Date
Mise en place des carreaux et conduits d'évacuation des fumées conformes	Oui	2
Ventilation haute et basse en balayage efficace de la chaufferie et de section conforme à la réglementation en vigueur	Oui	2
Grille de protection à maille fine des orifices de ventilation	Oui	2

CONTRÔLE "SECURITE" DES INSTALLATIONS TECHNIQUES

Etat :	1 : Neuf	2 : Correct	3 : Mauvais	4 : Hors service ou à remplacer d'urgence
--------	----------	-------------	-------------	---

Local chaufferie / sous-station

	Existant	Etat
Parois chaufferie coupe-feu 2 heures et matériaux M0	Oui	Sans objet
(Si chaufferie terrasse ou distance > 10 m uniquement M0)	Sans objet	
Coupe-feu Accès chaufferie conforme - CF 1H pour porte sur intérieur	Sans objet	
Coupe-feu Accès chaufferie conforme - CF 1/2H pour porte sur extérieur ou SAS	Oui	Sans objet
Accès chaufferie : Ouverture dans le sens de la sortie	Oui	Sans objet
Accès chaufferie : barre anti-panique	Oui	Sans objet
Accès chaufferie : groom	Oui	4
Présence d'une gaine pompier pour les chaufferies en sous-sol	Sans objet	
Présence du conduit de fumées en extérieur (pour les puissances supérieures à 300 kW)	Oui	Sans objet
Sortie dans 2 directions opposées (si PIC > 1MW)	Sans objet	

Equipements de sécurité

	Existant	Etat
Repérage des équipements de sécurité (gaine pompier-extincteurs - coffret DTU)	Oui	Sans objet
Eclairage de sécurité au-dessus des portes	Oui	Sans objet
Présence coupure électrique Force/lumière repéré en entrée chaufferie	Oui	Sans objet
Détection incendie (si PIC > 1MW)	Sans objet	
Détection gaz en chaufferie (si PIC > 1MW)	Sans objet	
Présence extincteur conforme Gaz: 34A (1/brûleur), Fuel: 34B1B2 (2/brûleur, 4 maxi)	Oui	Sans objet

Sécurité installation Gaz

	Existant	Etat
Coupure gaz chaufferie extérieure accessible et conforme	Oui	Sans objet
Double électrovanne gaz à la pénétration asservie à une détection gaz (si PIC > 1 MW)	Sans objet	
Teinte conventionnelle de la canalisation gaz	Oui	Sans objet
Canalisations gaz extérieures conformes: protection pour h<2m	Oui	Sans objet
Distance > 0.4 m des ouvrants et ventilations	Oui	Sans objet
Passage sous fourreau coupe-feu 2 heures dans les locaux non ventilés	Sans objet	

4 ANALYSE DES CONSOMMATIONS

Les consommations mensuelles du site, transmises par l'IMT Albi pour le gaz et récupérées sur le livret de chaufferie pour l'ECS, sont les suivantes pour l'année 2023 :

	Conso Gaz (MWh PCS)
Janvier	24,0
Février	36,0
Mars	31,8
Avril	19,4
Mai	14,0
Juin	3,8
Juillet	3,5
Août	3,5
Septembre	4,2
Octobre	4,9
Novembre	16,2
Décembre	29,9
Total 2023	191,1

	Conso ECS (m³)
Janvier	25
Février	34
Mars	39
Avril	30
Mai	31
Juin	29
Juillet	26
Août	15
Septembre	42
Octobre	43
Novembre	40
Décembre	41
Total 2023	395

La consommation totale de gaz en 2023 est de 191,1 MWh PCS, soit 155,1 MWh utiles, comprenant le chauffage des locaux et le réchauffage de 395 m³ d'eau chaude sanitaire.

Grâce à ces données, il est possible de déterminer le besoin en gaz pour la production d'un mètre cube d'eau chaude sanitaire (ECS). En effet, le chauffage étant coupé l'été (entre Juin et Octobre), la seule utilisation du gaz sur cette période est liée à la production d'ECS. En moyenne, sur les mois de Juin à Octobre, les besoins pour la production d'ECS s'établissent à 128 kWh PCS / m³ (ratio cohérent avec les valeurs usuelles).

Ainsi, sur l'année 2023, la consommation de gaz dédiée à la production d'ECS est de 40,9 MWh utiles, soit 114,2 MWh utiles pour le chauffage.

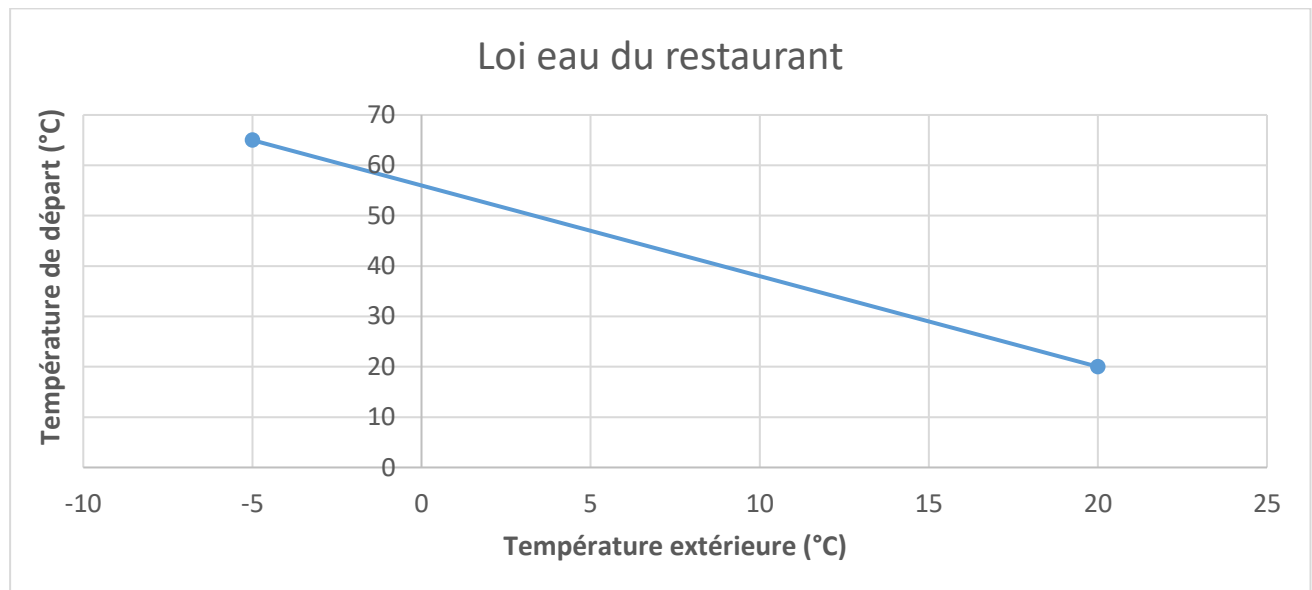
Cette consommation annuelle de chauffage est utilisée par la suite pour l'évaluation des puissances nécessaires à installer.

Concernant les besoins en ECS, ces derniers ont été répartis sur l'ensemble de l'année, au prorata du nombre de repas distribués chaque jour afin d'avoir une estimation fine des besoins journaliers en ECS pour le dimensionnement de l'installation solaire thermique (cf 8.1). Le profil de consommation ECS journalier est fourni en Annexe 1.

Concernant les données météorologiques, toutes les consommations seront basées sur une base DJU 18°C de 1700 sur la période de chauffe du bâtiment. Les données de la station météo utilisées sont les suivantes :

Station météo	Albi
Température extérieure de base	-5°C
Altitude	172

La loi d'eau associée au chauffage du bâtiment (fournie par l'IMT) est de 65°C par -5°C extérieur et de 20°C par 20°C extérieur :



Actuellement, la chaudière gaz produit de l'eau à 80°C quelque soit la température extérieure, la régulation se faisant au départ des circuits (sauf pour les CTA). Dans les scénarios présentés ci-dessous, ce fonctionnement ne sera pas utilisé, puisque énergivore. **Ainsi, ces scénarios prennent l'hypothèse d'une consigne de chauffe de la production de 65°C (pour ECS) avec une température de départ des circuits en fonction de la température extérieure suivant la courbe de chauffe ci-dessus.**

5 FAISABILITÉ DES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS

5.1 HYPOTHESES GÉNÉRALES

Dans le cadre des scénarios ci-dessous, les hypothèses utilisées sont les suivantes :

- Prix du MWh électrique consommé : 150 € HT
- Prix du MWh PCS gaz : 90 € HT

- Prix du MWh électrique revendu (photovoltaïque) : 77,8 € HT
- TURPE (Tarifs d'Utilisation des Réseaux Publics d'Electricité) à hauteur de 30%

5.2 IMPLANTATION

Dans le cadre des scénarios présentés dans cette étude, la mise en place d'une PAC ainsi que d'une installation de panneaux photovoltaïques est possible en toiture du restaurant grâce à l'importante surface disponible :



De plus, le toit du bâtiment restaurant dispose d'une surface propice à une installation photovoltaïque de par son exposition sud, l'absence de masques solaires importants et sa grande capacité d'accueil. Dans le cadre de cette étude, une surface de panneaux photovoltaïques de 100 m² a été prise en compte afin de maximiser la couverture des besoins en électricité associés à la pompe à chaleur tout en minimisant le temps de retour sur investissement.

Concernant la PAC, son implantation, ainsi que les équipements associés tel que le volume de stockage, nécessitera environ 30 m² au maximum.

Une étude de structure sera tout de même nécessaire pour s'assurer que la toiture est en capacité d'accueillir ces équipements.

5.3 SCENARIO 1 : SANS INSTALLATION SOLAIRE THERMIQUE

Le premier scénario consiste à conserver une partie de la production actuelle pour l'ECS et le chauffage et à installer une pompe à chaleur (PAC) pour couvrir une partie des besoins. Pour cela, plusieurs options seront proposées, en fonction du type de PAC qui peut être installé :

- Une PAC « classique », avec une température de production de 55°C
- Une PAC « Haute Température », avec une température de production de 65°C

La mise en place d'une pompe à chaleur peut présenter 2 inconvénients :

- Le besoin de réaliser une étude de structure pour s'assurer de la possibilité d'installer un tel matériel en toiture ainsi que les équipements associés (ballon de stockage en particulier) ;
- Des nuisances sonores dues au fonctionnement des ventilateurs et du compresseur.

Sur ce dernier point, il est possible d'ajouter des cloisons acoustiques autour de la PAC, ne modifiant pas les performances de l'appareil mais permettant d'éviter tout inconfort acoustique. Cependant, il est à noter qu'au vu de l'éloignement des logements avec le réfectoire, et la présence actuelle d'un Groupe Froid, présentant le même type de nuisances sonores, cette contrainte devrait être mineur dans le cadre du projet.

Ce point pourra être vérifié via une étude acoustique.

5.3.1 Option 1 : PAC classique de 40 kW

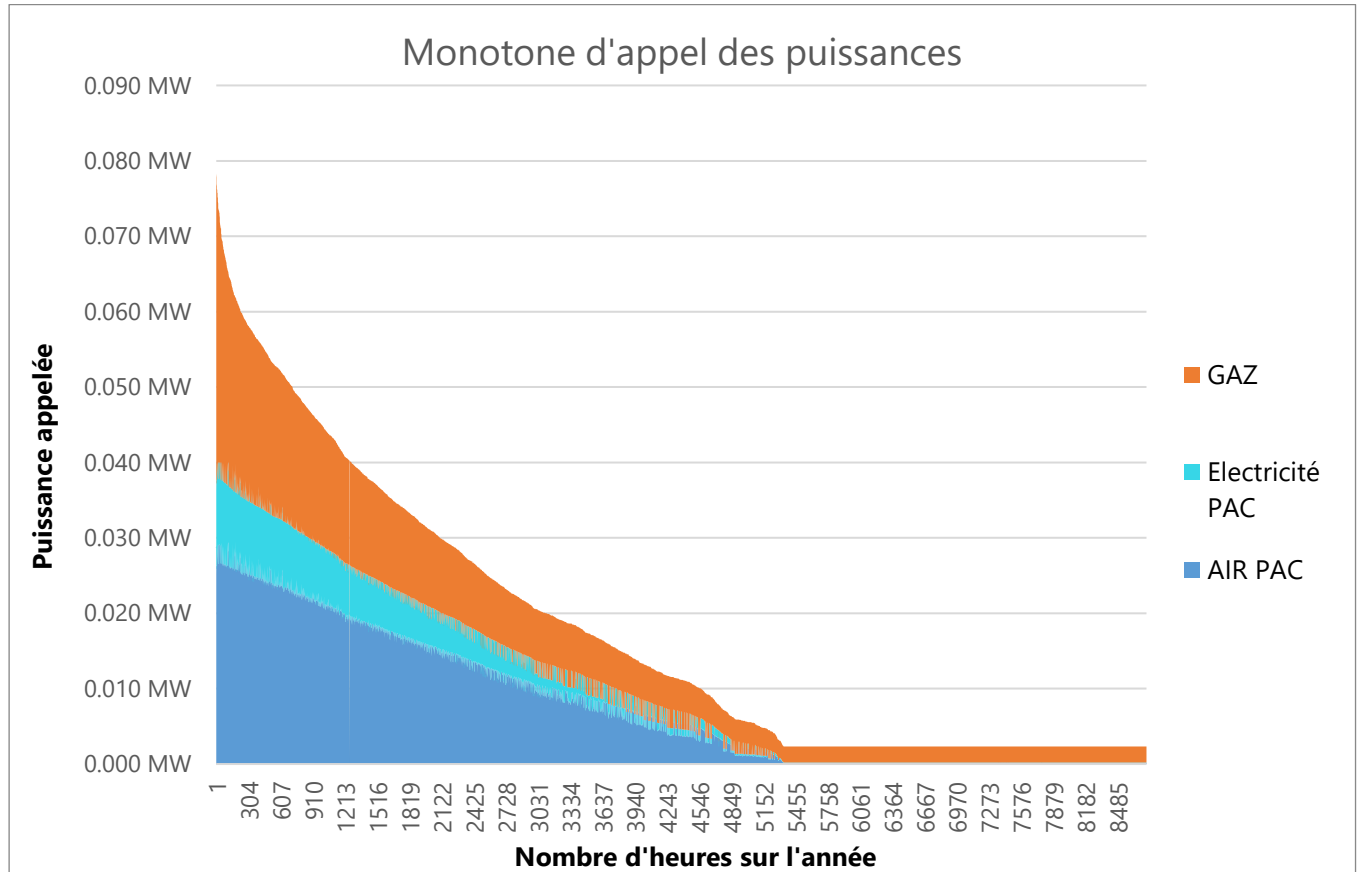
5.3.1.1 Variante sans installation photovoltaïque (1.a)

Cette première option consiste à installer une pompe à chaleur air/eau dite « classique » dont la température de sortie ne dépasse pas les 55°C. Cette PAC permettra d'augmenter la température de l'eau à 55°C, puis la chaudière gaz viendra compléter l'éventuelle élévation de température résiduelle (pour ECS ou demande importante de chauffage).

1.a / Aspects énergétiques

Dans le cadre de ce scénario, la puissance maximale atteinte est de 82 kW. Avec une PAC de 40 kW, la puissance gaz d'appoint nécessaire est donc de 42 kW. De ce fait, un remplacement de l'une des deux chaudières actuelles par une chaudière à condensation de 60 kW, permettant de meilleures performances de par son rendement plus élevé et son surdimensionnement, est conseillé. Cette chaudière à condensation serait dédiée au complément de production et la chaudière actuelle restante serait utilisée en secours. Pour la suite de l'étude, l'intégration de ces modifications de

chaudières sera prise en compte. Le taux de couverture des besoins en chaleur par la PAC est de 59 %, avec la monotone d'appel des puissances suivante :



Ce graphe représente les appels de puissance en fonction du nombre d'heures dans une année. Le nombre d'heures où la puissance est maximale (à gauche) est très faible car il s'agit des heures où il fait -5°C à l'extérieur. Le talon de puissance quasiment constant sur l'année représente quant à lui la production d'ECS. A noter que sur ce graphe, la courbe orange représente les appels de puissances couverts par le gaz et que les courbes bleues représentent ceux couverts par la PAC (puissance directement récupérée sur l'air et complément apporté par le compresseur).

Cette **option n°1 permettrait de réduire les consommations énergétiques annuelles de 44%**, passant de 155,1 MWh utiles gaz à 63,7 MWh utiles gaz et 23 MWh électriques, soit 86,7 MWh d'énergie finale.

1.a / Aspects économiques

Cette variante, sans installation photovoltaïque, représente un investissement total de 60 k€, suivant la décomposition suivante :

Option n°1	Variante 1.a
Travaux de dépose	1 000 €
Pompe à chaleur	22 460 €
Chaudière gaz condensation	9 360 €
Raccordements hydrauliques et électriques	10 250 €
Maîtrise d'œuvre et aléas	10 614 €
Étude de structure	10 000 €
Certificats d'économies d'énergie	- 4 130 €
Total	59 554 €

Les résultats liés à cette variante sont les suivants :

Option n°1	Variante 1.a
Investissement total	59 554 €
Économies annuelles réalisées	5 201 €
Temps de retour sur investissement	12 ans
COP moyen PAC	3
Réduction émissions de CO2	-56,9%

Dans le cadre de cette option, une subvention CEE (BAT-TH-113) sur l'installation de la PAC de de 4 130 € HT a été prise en compte dans le calcul économique.

5.3.1.2 Variante avec installation photovoltaïque (1.b)

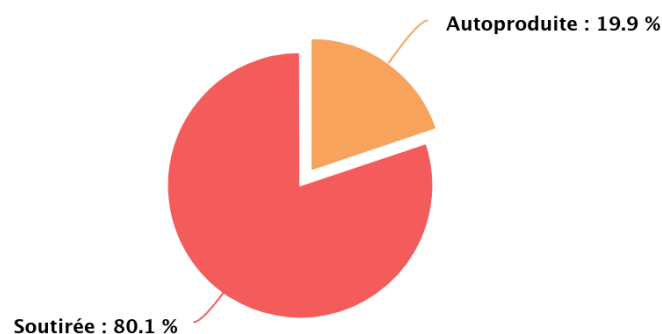
Cette variante se compose des mêmes matériels et données utilisées dans la variante précédente, à la différence que pour celle-ci, l'installation de panneaux photovoltaïques a été étudiée, dans le seul but de couvrir les besoins en énergie électrique de la PAC et de faire de la revente avec la production non utilisée. **Il est important de noter que pour l'ensemble de cette étude, la faisabilité d'une installation photovoltaïque ne porte que sur les aspects économiques, environnementaux et énergétiques.**

1.b / Aspects énergétiques

Une installation photovoltaïque de 100 m² représente une puissance de 20 kWc et permettrait une production électrique annuelle de 27 MWh. Un projet plus grand produirait plus d'électricité mais serait moins rentable économiquement, car le prix de revente est inférieur à celui de l'achat. De plus, l'absence de données précises sur la consommation électrique du restaurant limite l'évaluation des besoins couverts par une installation plus vaste.

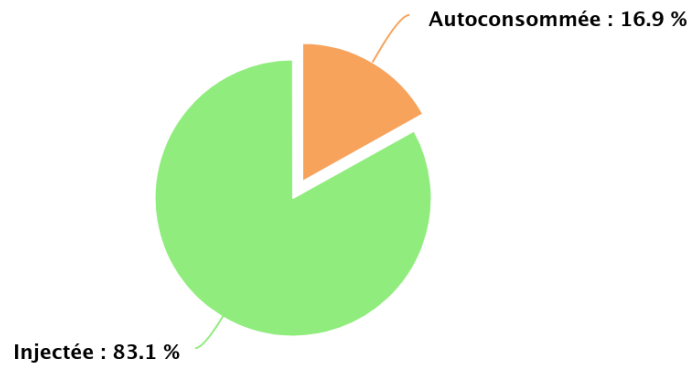
Cette production permettrait de couvrir quasiment 20% des besoins en électricité de la PAC. Le premier graphe ci-dessous représente la part de production photovoltaïque qui est autoconsommée alors que le second graphe représente la part d'électricité consommée qui est couverte par la production :

Consommation globale (Energie autoconsommée + soutirée)



Concernant le taux de production qui sera utilisé à des fins d'autoconsommation, il est de l'ordre de 17% :

Production locale (Energie autoconsommée + injectée)



1.b / Aspects économiques

Cette variante, avec installation photovoltaïque, représente un investissement total de 104 k€, suivant la décomposition suivante :

Option n°1	Variante 1.b
Travaux de dépose	1 000 €
Pompe à chaleur	22 460 €
Chaudière gaz condensation	9 360 €
Panneaux photovoltaïques	31 250 €
Raccordements hydrauliques et électriques	20 250 €
Maîtrise d'œuvre et aléas	18 864 €
Étude de structure	10 000 €
Certificats d'économies d'énergie	- 9 130 €
Total	104 054 €

Le bilan de cette variante est le suivant :

Option n°1	Variante 1.b
Investissement total	104 054 €
Économies annuelles réalisées	5 510 €
Temps de retour sur investissement	16 ans
COP moyen PAC	3
Réduction émissions de CO2	-57,6%

En plus de la subvention CEE sur la PAC, ce bilan économique prend en compte une subvention de l'ordre de 5000 € sur l'installation photovoltaïque.

Bilan Option n°1

Finalement sur l'ensemble de cette option, les résultats sont les suivants :

Option n°1	Variante 1.a	Variante 1.b
Investissement total	59 554 €	104 054 €
Économies annuelles réalisées	5 201 €	5 510 €
Temps de retour sur investissement	12 ans	16 ans
COP moyen PAC	3	3
Réduction émissions de CO2	-56,9%	-57,6%

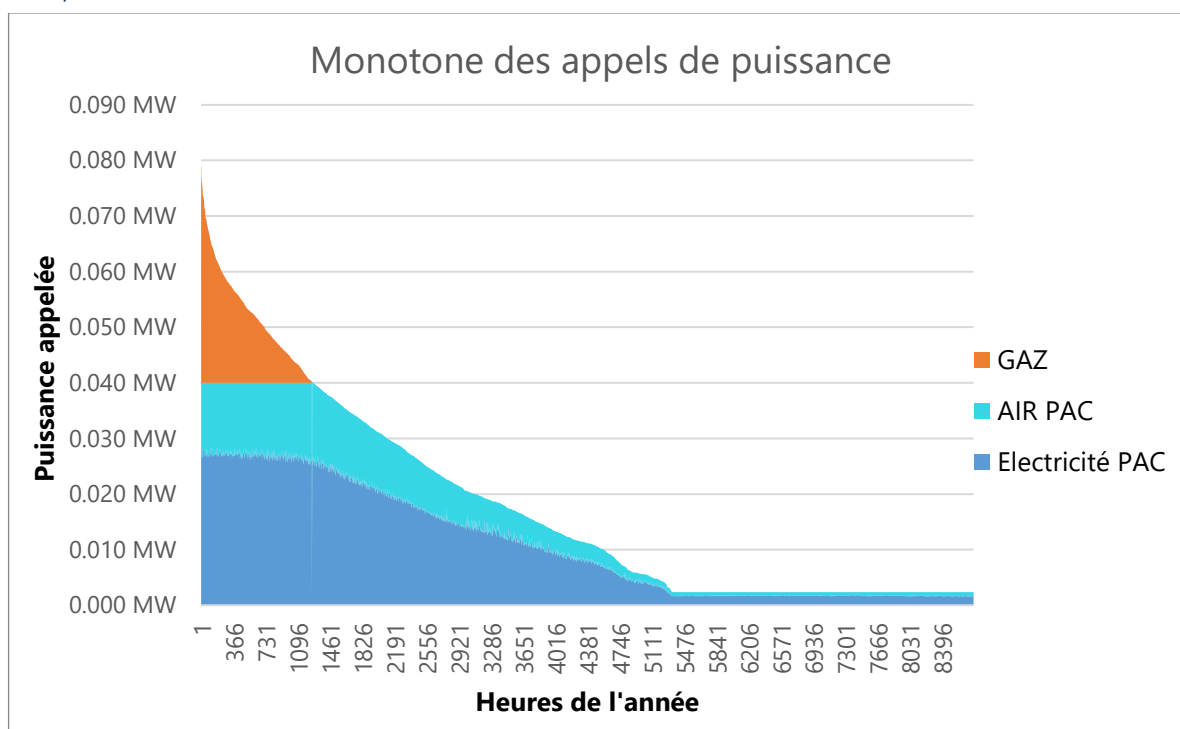
A titre informatif, une autoconsommation plus large, à l'échelle du bâtiment, permettrait de réduire le temps de retour sur investissement. Pour un taux d'autoconsommation de l'ordre de 70% sur la production photovoltaïque annuelle, le temps de retour sur investissement serait réduit de 3 ans environ sur la variante 1.b.

5.3.2 Option 2 : Mise en place d'une PAC haute température de 40 kW

5.3.2.1 Variante sans installation photovoltaïque (2.a)

2.a / Aspects énergétiques

Cette option est identique à la précédente, la seule différence réside dans le type de PAC installé. A la place de la PAC classique, il est proposé d'utiliser une PAC haute température de 40 kW avec une température de sortie de 65°C. Cette solution permettrait de couvrir l'ensemble des besoins d'ECS. L'utilisation de la chaudière gaz ne se ferait que lors des appels importants de puissance, supérieurs à 40 kW, comme le montre la monotone suivante :



Pour des besoins identiques en chaleur par rapport à l'option précédente, le taux de couverture de la PAC haute température est de 89%, contre 59% précédemment. Cependant, il est important de noter qu'une telle PAC présente un coefficient de performance moins élevé qu'une PAC classique (Option n°1), donc des consommations électriques plus importantes.

Identiquement à l'option précédente, il est proposé de conserver l'une des deux chaudières existantes pour le secours et de remplacer l'autre chaudière par une chaudière à condensation de 60 kW.

Cette option n°2 permettrait de réduire les consommations énergétiques annuelles de 61%.

2.a / Aspects économiques

Cette variante représente un investissement total de 60 k€ suivant la décomposition suivante :

Option n°2	Variante 2.a
Travaux de dépose	1 000 €
Pompe à chaleur	22 460 €
Chaudière gaz condensation	9 360 €
Raccordements hydrauliques et électriques	10 250 €
Maîtrise d'œuvre et aléas	10 614 €
Étude de structure	10 000 €
Certificats d'économies d'énergie	-4 130 €
Total	59 554 €

Finalement, les résultats liées à cette variante sont les suivants :

Option n°2	Variante 2.a
Investissement total	59 554 €
Économies annuelles réalisées	6 400 €
Temps de retour sur investissement	10 ans
COP moyen PAC	2,1
Réduction émissions de CO2	-79,4%

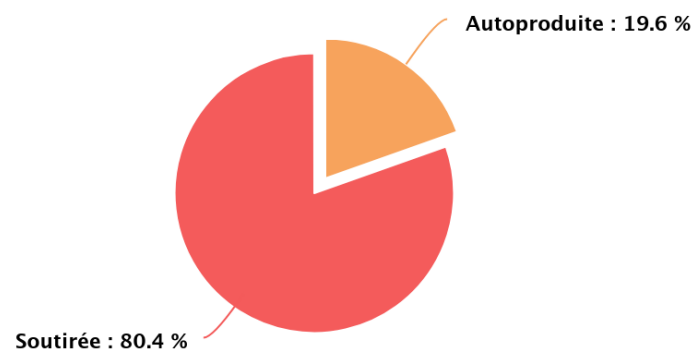
Dans le cadre de cette option, une subvention CEE (BAT-TH-113) sur l'installation de la PAC de l'ordre de 4130 € a été prise en compte dans le calcul économique.

5.3.2.2 Variante avec installation photovoltaïque (2.b)

2.b / Aspects énergétiques

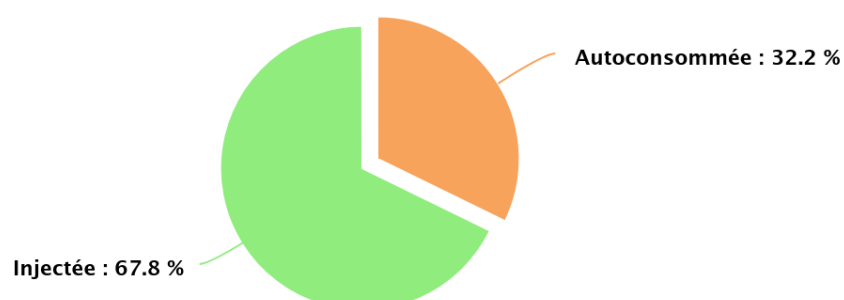
Cette variante se compose des mêmes matériels et données utilisées dans la variante précédente, à la différence que pour celle-ci, une installation de panneaux photovoltaïques de 100 m² a été étudiée, dans le seul but de couvrir les besoins en énergie électrique de la PAC. Cette production permettrait de couvrir 20% des besoins en électricité de la PAC :

Consommation globale (Energie autoconsommée + soutirée)



Concernant le taux de production qui sera utilisé à des fins d'autoconsommation, il est de l'ordre de 32% :

Production locale (Energie autoconsommée + injectée)



2.b / Aspects économiques

Cette variante, avec installation photovoltaïque, représente un investissement total de 104 k€, suivant la décomposition suivante :

Option n°2	Variante 2.b
Travaux de dépose	1 000 €
Pompe à chaleur	22 460 €
Chaudière gaz condensation	9 360 €
Panneaux photovoltaïques	31 250 €
Raccordements hydrauliques et électriques	20 250 €
Maîtrise d'œuvre et aléas	18 864 €
Étude de structure	10 000 €
Certificats d'économies d'énergie	-9 130 €
Total	104 054 €

Le bilan de cette variante est le suivant :

Option n°2	Variante 2.b
Investissement total	104 054 €
Économies annuelles réalisées	7 328 €
Temps de retour sur investissement	13 ans
COP moyen PAC	2,1
Réduction émissions de CO2	-80,7%

Bilan Option n°2

Finalement sur l'ensemble de cette option, les résultats sont les suivants :

Option n°2	Variante 2.a	Variante 2.b
Investissement total	59 554 €	104 054 €
Économies annuelles réalisées	6 400 €	7 328 €
Temps de retour sur investissement	10 ans	13 ans
COP moyen PAC	2,1	2,1
Réduction émissions de CO2	-79,4%	-80,7%

A titre informatif, une autoconsommation plus large, à l'échelle du bâtiment, permettrait de réduire le temps de retour sur investissement. Pour un taux d'autoconsommation de l'ordre de 70% sur la production photovoltaïque annuelle, le temps de retour sur investissement serait réduit de 2 ans environ sur la variante 2.b.

5.4 SCÉNARIO 2 : AVEC INSTALLATION SOLAIRE THERMIQUE

Ce second scénario consiste à installer des panneaux solaires thermiques afin de couvrir une partie de la production d'ECS. Pour cela, 2 options seront proposées en fonction du type de PAC installée :

- Une PAC « classique », avec une température de production de 55°C
- Une PAC « Haute Température », avec une température de production de 65°C

Dans le cadre de ce scénario, une estimation journalière de la consommation en ECS a été réalisée sur la base des consommations mensuelles d'ECS couplées au nombre de repas journaliers préparés. Les résultats de cette estimation sont présentés sous forme de graphe en 8.1 et sont cohérents avec l'utilisation du site : moins de repas pendant les périodes de vacances scolaires, beaucoup de repas sur le premier semestre de l'année et moins sur le second (étudiants en stage ou à l'étranger).

Le critère principal de dimensionnement des panneaux solaires thermiques réside dans la couverture des besoins ECS annuels durant les mois d'été. En effet, les apports solaires étant maximums à cette période, il est conseillé de ne pas dépasser une couverture mensuelle de 90% sur les besoins en ECS. Cette condition permet d'éviter la surchauffe des panneaux entraînant une caramélisation du glycol.

Sur la base de ce critère, la surface de panneaux solaires thermiques à installer est de 16,3 m², soit 7 panneaux de 2,33 m² chacun. Cette installation permettrait de couvrir 31% des besoins annuels en ECS, représentant environ 10 MWh :

	Irradiation capteurs (Wh/m ² .jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
Janvier	2290	3365	565	18,2	16,8	1874
Fevrier	2825	2417	626	22,4	25,9	1507
Mars	4008	3166	1004	32,4	31,7	1835
Avril	3951	2038	943	31,4	46,2	1244
Mai	3907	2199	1004	32,4	45,6	1360
Juin	4050	2321	1029	34,3	44,3	1547
Juillet	4403	871	783	25,3	89,9	574
Aout	4423	831	754	24,3	90,7	551
Septembre	4540	3626	1146	38,2	31,6	2359
Octobre	3559	3884	932	30,1	24,0	2362
Novembre	2621	4140	652	21,7	15,8	2444
Decembre	2054	3272	505	16,3	15,4	1828
Taux couverture solaire	30,9	%	Apport solaire annuel	9943	kWh/an	
Besoin annuel	32131	kWh/an	Productivite annuelle	610	kWh/m ² .an	

Résultats de la simulation solaire thermique via le logiciel Solo 2000

Cette installation de 16,3 m² de panneaux sera utilisée par la suite dans les différentes options présentées. Cette installation est couplée à un ballon de stockage de 800 litres avec isolant. De plus, les panneaux solaires thermiques sont supposés inclinés à 69 °/Horizon.

5.4.1 Option 3 : PAC classique de 40 kW

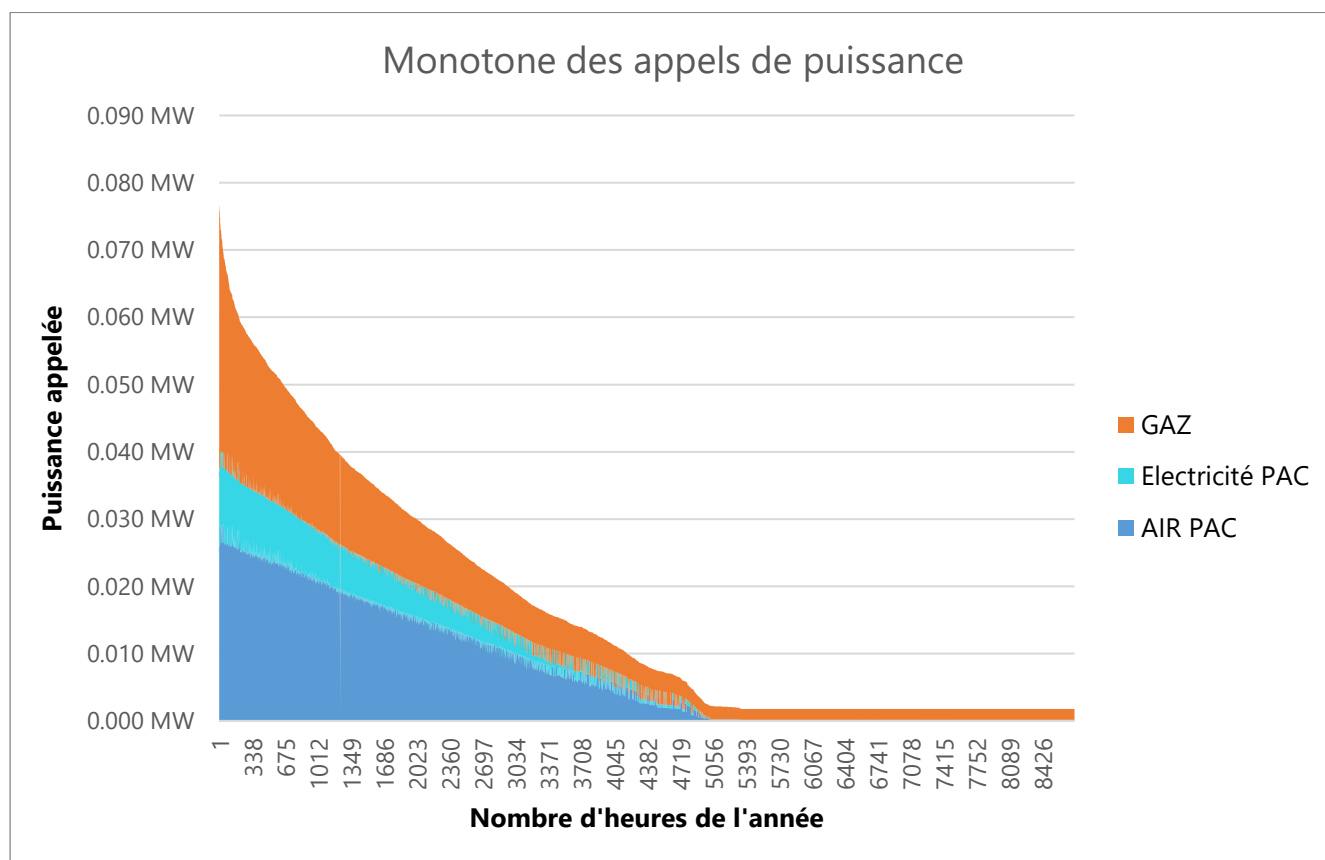
5.4.1.1 Variante sans installation photovoltaïque (3.a)

Cette troisième option consiste à installer une pompe à chaleur air/eau dite « classique » dont la température de sortie ne dépasse pas les 55°C.

3.a / Aspects énergétiques

Comme pour les options n°1 et n°2, il est proposé ici de conserver une chaudière gaz pour le secours et de remplacer la seconde par une chaudière à condensation de 60 kW pour l'appoint. Le taux de

couverture des besoins en chaleur par la PAC est de 60 %, avec la monotone d'appel des puissances suivante :



La différence entre l'Option 1 et l'Option 3 est significative durant les mois de juillet et d'août, durant lesquels la puissance maximale appelée est réduite de 61%.

Cette option n°3 permettrait de réduire les consommations énergétiques annuelles de 49%.

3.a / Aspects économiques

Cette variante, sans installation photovoltaïque, représente un investissement total de 79 k€, suivant la décomposition suivante :

Option n°3	Variante 3.a
Travaux de dépose	1 000 €
Pompe à chaleur	22 460 €
Chaudière gaz condensation	9 360 €

Panneaux solaires thermiques	16 200 €
Raccordements hydrauliques et électriques	10 250 €
Maîtrise d'œuvre et aléas	13 854 €
Étude de structure	10 000 €
Certificats d'économies d'énergie	-4 130 €
Total	78 994 €

Finalement, les résultats liés à cette variante sont les suivants :

Option n°3	Variante 3.a
Investissement total	78 994 €
Économies annuelles réalisées	5 636 €
Temps de retour sur investissement	15 ans
COP moyen PAC	3
Réduction émissions de CO2	-59,7%

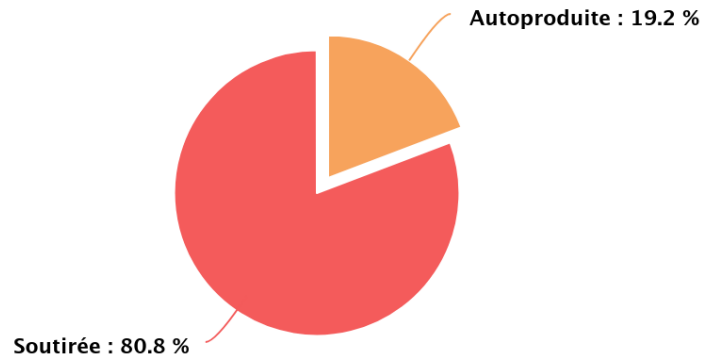
Dans le cadre de cette option, une subvention CEE (BAT-TH-113) sur l'installation de la PAC de l'ordre de 4130 € a été prise en compte dans le calcul économique.

5.4.1.2 Variante avec installation photovoltaïque (3.b)

3.b / Aspects énergétiques

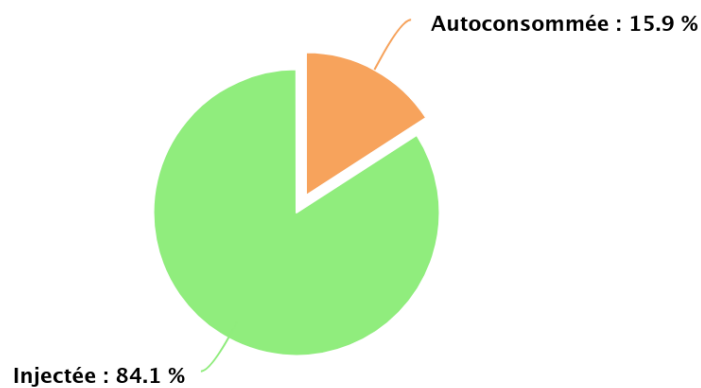
Cette variante se compose des mêmes matériels et données utilisées dans la variante précédente, à la différence que pour celle-ci, une installation de panneaux photovoltaïques de 100 m² a été étudiée, dans le seul but de couvrir les besoins en énergie électrique de la PAC. Cette production permettrait de couvrir 19% des besoins en électricité de la PAC :

Consommation globale (Energie autoconsommée + soutirée)



Concernant le taux de production qui sera utilisé à des fins d'autoconsommation, il est de l'ordre de 16% :

Production locale (Energie autoconsommée + injectée)



3.b / Aspects économiques

Cette variante, avec installation photovoltaïque, représente un investissement total de 124 k€, suivant la décomposition suivante :

Option n°3	Variante 3.b
Travaux de dépose	1 000 €
Pompe à chaleur	22 460 €
Chaudière gaz condensation	9 360 €
Panneaux photovoltaïques	31 250 €
Panneaux solaires thermiques	16 200 €
Raccordements hydrauliques et électriques	20 250 €
Maîtrise d'œuvre et aléas	22 104 €
Étude de structure	10 000 €
Certificats d'économies d'énergie	-9 130 €
Total	123 494 €

Le bilan de cette variante est le suivant :

Option n°3	Variante 3.b
Investissement total	123 494 €
Économies annuelles réalisées	5 902 €
Temps de retour sur investissement	18 ans
COP moyen PAC	3
Réduction émissions de CO2	-60,4%

Bilan Option n°3

Finalement sur l'ensemble de cette option, les résultats sont les suivants :

Option n°3	Variante 3.a	Variante 3.b
Investissement total	78 994 €	123 494 €
Économies annuelles réalisées	5 636 €	5 902 €
Temps de retour sur investissement	15 ans	18 ans
COP moyen PAC	3	3
Réduction émissions de CO2	-59,7%	-60,4%

L'écart sur les temps de retour sur investissement entre cette option et l'option n°1 est lié à trois causes :

- Le prix surfacique important des panneaux solaires thermiques
- Le taux de couverture maximum admissible en été (90%)
- Le profil de consommation en ECS du bâtiment

En effet, outre le prix élevé des panneaux solaires thermiques, le profil de consommation ECS du restaurant (cf 8.1) montre que sur les mois de Juillet et Août les besoins en ECS sont faibles vis-à-vis des autres mois de l'année (vacances scolaires d'été). Cette réduction de besoins l'été couplée au taux de couverture maximal admissible de 90% sur ces mêmes mois font que l'installation de panneaux solaires thermiques pour la production d'ECS ne semble pas pertinente pour ce bâtiment.

A titre informatif, une autoconsommation plus large, à l'échelle du bâtiment, permettrait de réduire le temps de retour sur investissement. Pour un taux d'autoconsommation de l'ordre de 70% sur la production photovoltaïque annuelle, le temps de retour sur investissement serait réduit de 3 ans environ sur la variante 3.b.

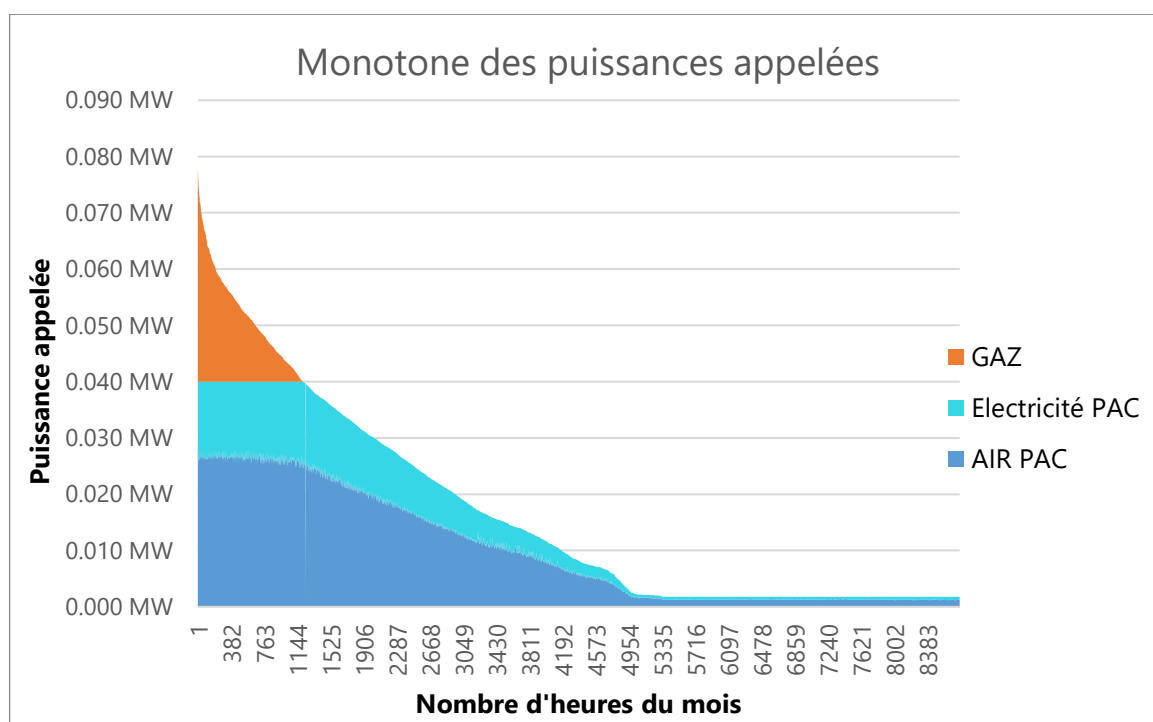
5.4.2 Option 4 : Mise en place d'une PAC haute température de 40 kW

5.4.2.1 Variante sans installation photovoltaïque (4.a)

Cette option est identique à la précédente, la seule différence réside dans le type de PAC installée. En effet, à la place de la PAC classique, il est proposé d'utiliser ici une PAC haute température de 40kW avec une température de sortie de 65°C.

4.a / Aspects énergétiques

Comme pour les options précédentes, il est proposé ici de conserver une chaudière gaz pour le secours et de remplacer la seconde par une chaudière à condensation de 60 kW pour l'appoint. Le taux de couverture des besoins en chaleur par la PAC est de 90 %, avec la monotone suivante :



La différence entre l'Option 2 et l'Option 4 est significative durant les mois de juillet et d'août, durant lesquels la puissance maximum appelée est réduite de 61%.

Cette option n°4 permettrait de réduire les consommations énergétiques annuelles de 62%.

4.a / Aspects économiques

Cette variante, sans installation photovoltaïque, représente un investissement total de 79 k€, suivant la décomposition suivante :

Option n°4	Variante 4.a
Travaux de dépose	1 000 €
Pompe à chaleur	22 460 €
Chaudière gaz condensation	9 360 €
Panneaux solaires thermiques	16 200 €
Raccordements hydrauliques et électriques	10 250 €
Maîtrise d'œuvre et aléas	13 854 €
Étude de structure	10 000 €
Certificats d'économies d'énergie	-4 130 €
Total	78 994 €

Les résultats liés à cette variante sont les suivants :

Option n°4	Variante 4.a
Investissement total	78 994 €
Économies annuelles réalisées	6 399 €
Temps de retour sur investissement	13 ans
COP moyen PAC	2
Réduction émissions de CO2	-79,8%

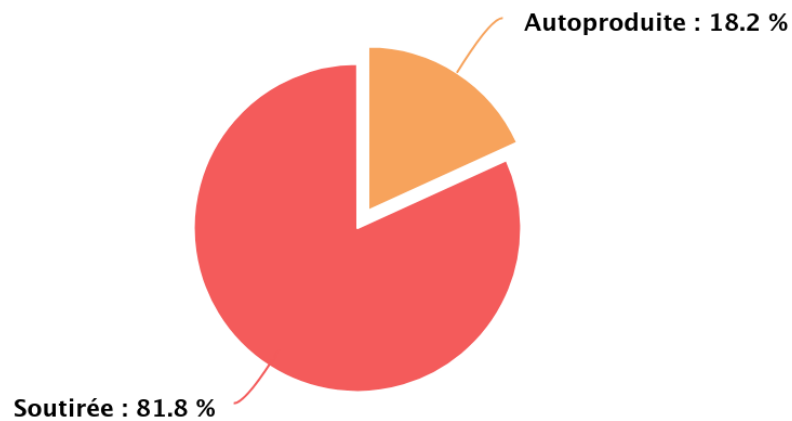
Dans le cadre de cette option, une subvention CEE (BAT-TH-113) sur l'installation de la PAC de l'ordre de 4130 € a été prise en compte dans le calcul économique.

5.4.2.2 Variante avec installation solaire photovoltaïque (4.b)

4.b / Aspects énergétiques

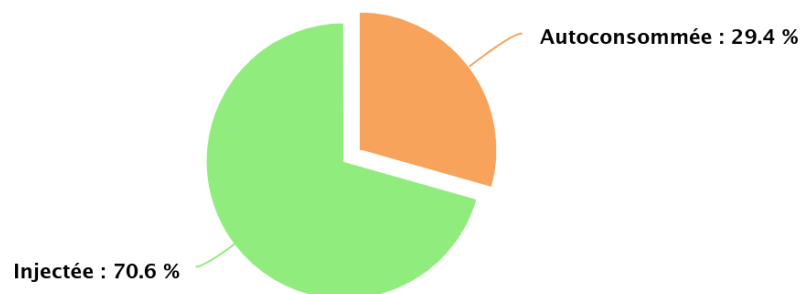
Cette variante se compose des mêmes matériels et données utilisées dans la variante précédente, à la différence que pour celle-ci, une installation de panneaux photovoltaïques de 100 m² a été étudiée, dans le seul but de couvrir les besoins en énergie électrique de la PAC. Cette production permettrait de couvrir 18% des besoins en électricité de la PAC :

Consommation globale (Energie autoconsommée + soutirée)



Concernant le taux de production qui sera utilisé à des fins d'autoconsommation, il est de l'ordre de 30% :

Production locale (Energie autoconsommée + injectée)



4.b / Aspects économiques

Cette variante, avec installation photovoltaïque, représente un investissement total de 124 k€, suivant la décomposition suivante :

Option n°4	Variante 4.b
Travaux de dépose	1 000 €
Pompe à chaleur	22 460 €
Chaudière gaz condensation	9 360 €
Panneaux photovoltaïques	31 250 €
Panneaux solaires thermiques	16 200 €
Raccordements hydrauliques et électriques	20 250 €
Maîtrise d'œuvre et aléas	22 104 €
Étude de structure	10 000 €
Certificats d'économies d'énergie	-9 130 €
Total	123 494 €

Le bilan de cette variante est le suivant :

Option n°4	Variante 4.b
Investissement total	123 494 €
Économies annuelles réalisées	7 212 €
Temps de retour sur investissement	15 ans
COP moyen PAC	2
Réduction émissions de CO2	-81,1%

Bilan Option n°4

Finalement sur l'ensemble de cette option, les résultats sont les suivants :

Option n°4	Variante 4.a	Variante 4.b
Investissement total	78 994 €	123 494 €
Économies annuelles réalisées	6 399 €	7 212 €
Temps de retour sur investissement	13 ans	15 ans
COP moyen PAC	2	2
Réduction émissions de CO2	-79,8%	-81,1%

La conclusion est la même que l'option n°3.

A titre informatif, une autoconsommation plus large, à l'échelle du bâtiment, permettrait de réduire le temps de retour sur investissement. Pour un taux d'autoconsommation de l'ordre de 70% sur la production photovoltaïque annuelle, le temps de retour sur investissement serait réduit de 2 ans environ sur la variante 4.b.

5.5 SCENARIO 3 : GEOTHERMIE SUR SONDES

Ce scénario consiste à mettre en place une solution de production de la chaleur par géothermie sur sondes. Pour cela, une pompe à chaleur eau/eau, dont la température de sortie ne dépasse pas les 65°C, sera reliée à des sondes géothermiques. Une chaudière gaz sera conservée en secours/appoint.

Afin de dimensionner cette production, les consommations futures du bâtiment ont été estimées, sur la base d'une réduction des besoins en chauffage de 30%. La nouvelle consommation de base pour ce scénario est la suivante :

- 80 MWh utiles en chauffage pour 1700 DJU
- 41 MWh utiles pour l'ECS

Cette production géothermique pourra également être utilisée en été pour rafraîchir le bâtiment. Ce rafraîchissement peut être réalisé de façon passive (via un échangeur thermique) ou de façon active (via l'utilisation de la PAC eau/eau).

La solution géothermique a été dimensionnée pour couvrir l'intégralité des besoins énergétiques futurs du bâtiment, avec une puissance de 62 kW.

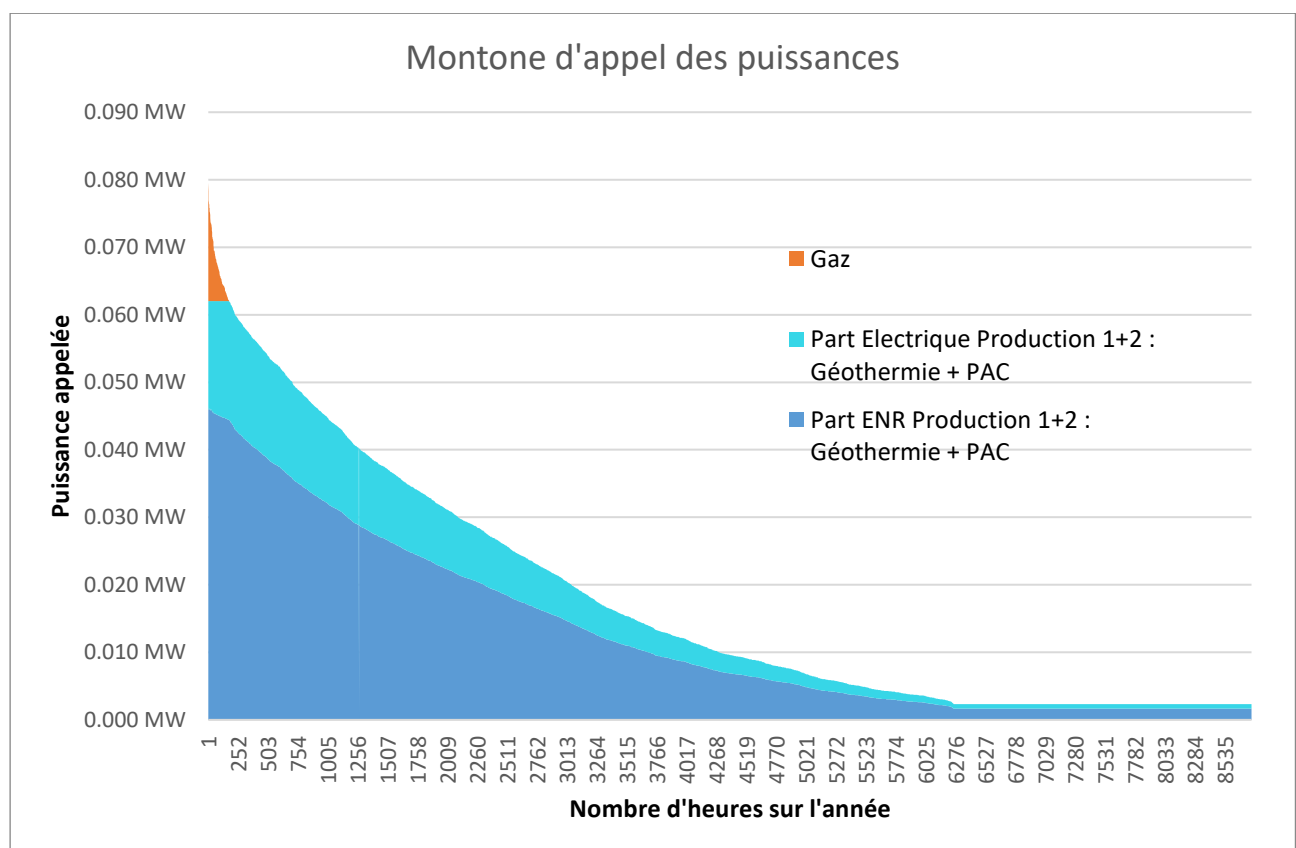
Les options présentées ci-dessous montrent l'état énergétique du bâtiment avant et après les réductions de consommation.

5.5.1 Option 5 : sans réduction des consommations

Cette option consiste à mettre en place une solution de production de la chaleur par géothermie sur sondes. Pour cela, une pompe à chaleur eau/eau, dont la température de sortie ne dépasse pas les 65°C, sera reliée à des sondes géothermiques. Une chaudière gaz sera conservée en secours.

5.a / Aspects énergétiques

Dans le cadre de ce scénario, la puissance maximale atteinte est de 82 kW, avec une production géothermique de 62 kW. Cette production géothermique pourra également être utilisée en été pour rafraîchir le bâtiment. La monotone d'appel des puissances en chaud liée à cette production est la suivante :



Ce graphe représente les appels de puissance en fonction du nombre d'heures dans une année. Le nombre d'heures où la puissance est maximale (à gauche) est très faible car il s'agit des heures où il

fait -5°C à l'extérieur. Le talon de puissance quasiment constant sur l'année représente quant à lui la production d'ECS. A noter que sur ce graphe, les courbes bleues représentent les besoins couverts par la PAC (puissance directement récupérée sur l'air et complément apporté par le compresseur) et en orange les besoins couverts par le gaz.

Cette **option n°5 permettrait de réduire les consommations d'énergie primaire annuelles de 71%**, passant de 155,1 MWh utiles gaz à 45 MWh électriques. En l'absence de données de consommations sur le froid, nous n'avons pas inclus le gain énergétique lié à l'utilisation de la géothermie pour le rafraîchissement. Il est cependant important de noter que l'utilisation de la géothermie pour le froid, au travers de la PAC ou de l'échangeur thermique, permettra de bénéficier de la subvention fond chaleur à 100% présentée en 5.b ainsi que d'améliorer l'utilisation de la ressource géothermique. Le groupe froid actuellement présent sera conservé en appoint/secours.

Concernant la mise en place des sondes géothermiques, ces dernières seront au nombre de 7, avec une longueur unitaire de 150 m.

Couverture besoins 100%	
Nombre de sondes	7
Profondeur des sondes	150 m
Linéaire de sondes	1 050 m

Une représentation des sondes et du collecteur est disponible en Annexe 3 (8.3).
L'implantation de ces sondes pourrait être réalisée sur le parking du restaurant :



Figure 2 : Plan d'implantation des sondes géothermiques

5.b / Aspects économiques

Cette option, sans installation photovoltaïque, représente un investissement total de 170 000 k€, suivant la décomposition suivante :

Option n°5	Géothermie sur sondes
Pompe à chaleur (pose + matériel + mise en service)	40 000 €
Sondes, collecteur et canalisations	161 500 €
Étude de structure	10 000 €
Raccordements hydrauliques et électriques	10 250 €
Travaux de dépose	1 000 €
Maîtrise d'œuvre et Divers	44 550 €
Fonds chaleur	95 500 €
Total	171 800 €

Les résultats liés à cette option sont les suivants :

Option n°5	Géothermie sur sondes
Investissement total	171 800 €
Économies annuelles réalisées	8 249 €
COP moyen PAC	3.5
Temps de retour sur investissement	21 ans
Réduction émissions de CO2	-92.6%
Gain émissions CO2	37,5 tonnes

Dans le cadre de cette option, une subvention fonds chaleur sur l'installation géothermique de 95 500€ HT a été prise en compte dans le calcul économique.

Le temps de retour sur investissement, plus élevé que pour les autres options, s'explique par 2 raisons majeurs :

- Un taux de couverture élevé des besoins en chaud par la solution géothermique proposée ;
- La non-considération des gains énergétiques liés à l'utilisation de la géothermie passive pour le rafraîchissement des locaux, en substitution ou appoint au groupe froid actuel.

Cependant, cette option permet une forte décarbonation.

5.5.2 Option 6 : avec réduction des consommations de 30%

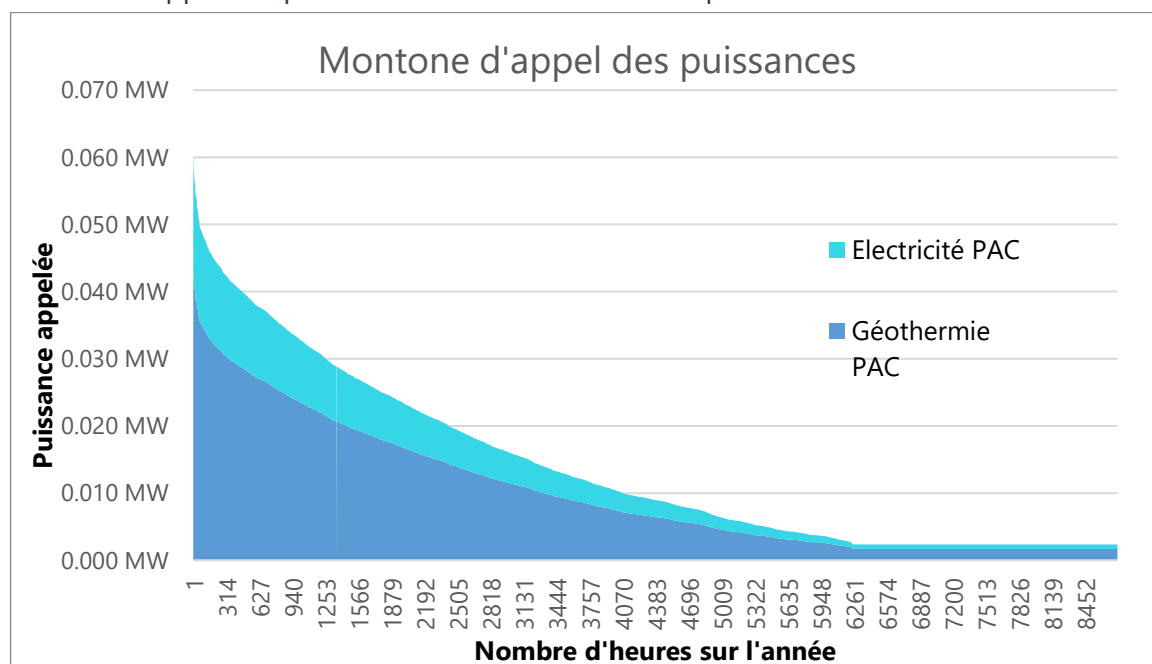
Cette option est basée sur la même production et les même caractéristique que l'option précédente. La seule différence réside dans les besoins en chaud du bâtiment, réduit de 30% sur le chauffage dans le cadre de cette option n°6.

5.5.2.1 Variante sans installation photovoltaïque

5.a / Aspects énergétiques

Dans le cadre de ce scénario, la puissance maximale atteinte est de 62 kW. Nous avons dimensionné la solution géothermique afin de couvrir 100% des besoins futurs en chaud (dont l'ECS). Pour cela, les besoins en chauffage du bâtiment ont été réduits de 30% contrairement aux besoins en ECS qui restent inchangés.

La monotone d'appel des puissances en chaud liée à cette production est la suivante :



Ce graphe représente les appels de puissance en fonction du nombre d'heures dans une année. Le nombre d'heures où la puissance est maximale (à gauche) est très faible car il s'agit des heures où il fait -5°C à l'extérieur. Le talon de puissance quasiment constant sur l'année représente quant à lui la production d'ECS.

Cette **option n°6 permettrait de réduire les consommations d'énergie primaire annuelles de 72%**, passant de 121 MWh utiles gaz à 34 MWh électriques. En l'absence de données de consommations sur le froid, nous n'avons pas inclus le gain énergétique lié à l'utilisation de la géothermie pour le rafraîchissement. Il est cependant important de noter que l'utilisation de la géothermie pour le froid, au travers de la PAC ou de l'échangeur thermique, permettra de bénéficier de la subvention fond chaleur à 100% présentée en 5.b ainsi que d'améliorer l'utilisation de la ressource géothermique. Le groupe froid actuellement présent sera conservé en appoint/secours.

Concernant la mise en place des sondes géothermiques, cette dernière est équivalente à l'option précédente, soit 7 sondes de longueur unitaire de 150 m implantées sur le parking du restaurant. Une représentation des sondes et du collecteur est disponible en Annexe 3 (8.3).

5.b / Aspects économiques

Cette option, sans installation photovoltaïque, représente un investissement total de 145 000 k€, suivant la décomposition suivante :

Option n°6	Géothermie sur sondes
Pompe à chaleur (pose + matériel + mise en service)	40 000 €
Sondes, collecteur et canalisations	161 500 €
Étude de structure	10 000 €
Raccordements hydrauliques et électriques	10 250 €
Travaux de dépose	1 000 €
Maîtrise d'œuvre et Divers	44 550 €
Fonds chaleur	95 500 €
Total	171 800 €

Les résultats liés à cette option sont les suivants :

Option n°6	Géothermie sur sondes
Investissement total	171 800 €
Économies annuelles réalisées	5 843 €
COP moyen PAC	3.5
Temps de retour sur investissement	30 ans
Réduction émissions de CO2	-93.0%
Gain émissions CO2	29,2 tonnes

Dans le cadre de cette option, une subvention fonds chaleur sur l'installation géothermique de 95 500€ HT a été prise en compte dans le calcul économique.

Le temps de retour sur investissement, plus élevé que pour les autres options, s'explique par 2 raisons majeurs :

- Un taux de couverture des besoins en chaud à hauteur de 100% par la solution géothermique proposée ;
- La non-considération des gains énergétiques liés à l'utilisation de la géothermie passive pour le rafraîchissement des locaux, en substitution ou appoint au groupe froid actuel.

Cependant, cette option permet une forte décarbonation.

5.5.2.1 Variante avec installation photovoltaïque

Dans le cadre de cette option géothermique avec une réduction des consommations de 30%, l'intégration d'un système photovoltaïque dans les mêmes conditions qu'énoncées au titre de l'option 4 présentée au 5.4.2.2 permettrait de réduire d'une année le temps de retour sur investissement, sans considérer d'autoconsommation ailleurs que pour couvrir les besoins de la PAC.

Les résultats de cette variante sont les suivants :

Option n°6	Géothermie sur sondes avec PV
Investissement total	216 300 €
Économies annuelles réalisées	6 597 €
COP moyen PAC	3.5
Temps de retour sur investissement	29 ans
Réduction émissions de CO2	-94.3%
Gain émissions CO2	29,6 tonnes

Dans ce cas, seul 26% de l'électricité produite est autoconsommée, ne permettant pas d'optimiser le temps de retour sur investissement.

5.6 BILAN DES OPTIONS ET VARIANTES

Le tableau récapitulatif de l'ensemble des options et variantes associées est le suivant :

	Variante a	Variante b
Option n°1 : PAC 40 kW classique sans solaire thermique		
Investissement total	59 554 €	104 054 €
Économies annuelles réalisées	5 201 €	5 510 €
COP moyen PAC	3	3
Temps de retour sur investissement	12 ans	16 ans
Réduction émissions de CO2	-57%	-58%
Option n°2 : PAC 40 kW haute température sans solaire thermique		
Investissement total	59 554 €	104 054 €
Économies annuelles réalisées	6 400 €	7 328 €
COP moyen PAC	2.1	2.1
Temps de retour sur investissement	10 ans	13 ans
Réduction émissions de CO2	-79%	-81%

	Variante a	Variante b
Option n°3 : PAC 40 kW classique avec solaire thermique		
Investissement total	78 994 €	123 494 €
Économies annuelles réalisées	5 636 €	5 902 €
COP moyen PAC	3	3
Temps de retour sur investissement	15 ans	18 ans
Réduction émissions de CO2	-60%	-60%
Option n°4 : PAC 40 kW haute température avec solaire thermique		
Investissement total	78 994 €	123 494 €
Économies annuelles réalisées	6 399 €	7 212 €
COP moyen PAC	2	2
Temps de retour sur investissement	13 ans	15 ans
Réduction émissions de CO2	-80%	-81%
Option n°5 : Production géothermique sur sondes sans réduction des consommations		
Investissement total	171 800 €	-
Économies annuelles réalisées	8 249 €	-
COP moyen PAC	3.5	-
Temps de retour sur investissement	21 ans	-
Réduction émissions de CO2	-93%	-
Option n°6 : Production géothermique sur sondes avec réduction des consommations		
Investissement total	171 800 €	216 300 €
Économies annuelles réalisées	5 843 €	6 597 €
COP moyen PAC	3.5	3.5
Temps de retour sur investissement	30 ans	29 ans
Réduction émissions de CO2	-93%	-94%

6 RESEAU DE CHALEUR INTERNE

Pour compléter cette étude, une analyse sur la possibilité de créer un réseau de chaleur interne au site a été réalisée. Les bâtiments potentiellement concernés par ce réseau sont les suivants :

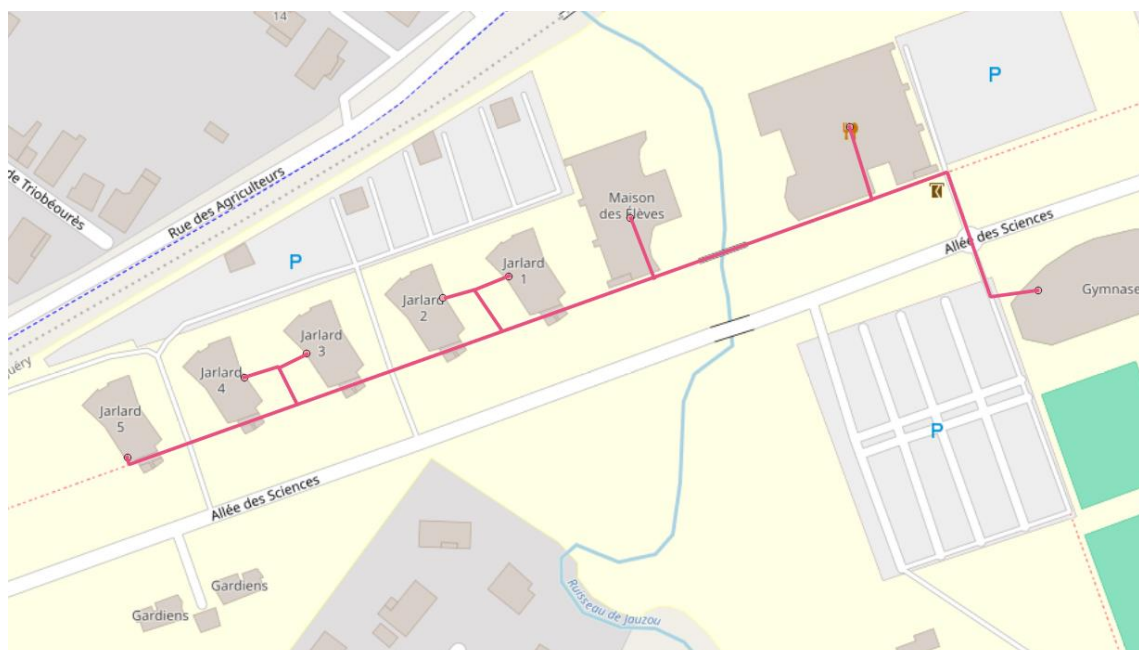
- Restaurant
- Maison des élèves
- Résidences étudiantes (Jarlard n°1 à n°5)
- Gymnase

Les données de consommations utiles en gaz de ces bâtiments après correction climatique (recalées sur DJU 18°C à 1700) sont les suivantes :

Bâtiment	Consommations 2023 gaz (MWh utiles)
Jarlard 01	99,2
Jarlard 02	92,2
Jarlard 03/04	233,0
Jarlard 05	43,5
Gymnase	20,6
MDE	50,5
Restaurant	155,2
Total	694,3

Les besoins annuels en chaleur des bâtiments sont de 700 MWh.

Nous présentons ci-dessous le tracé du réseau sur la base d'une production au niveau de la chaufferie du restaurant et une implantation des canalisations le long des axes de circulation :



Ce tracé correspond à une longueur d'environ 550 mètres. La densité du réseau (rapport de la chaleur annuelle livrée (MWh) par la longueur du réseau) est de 1,3 MWh/ml. Cette valeur est inférieure à la densité minimale de 1,5 MWh/ml exigée par l'ADEME pour subventionner les réseaux de chaleur.

Une autre solution serait de ne pas raccorder le gymnase, compte tenu de sa faible consommation annuelle en gaz. La longueur du réseau passerait à 455 mètres pour 675 MWh annuels livrés. Soit une densité de 1,5 MWh/ml. Cette densité est cohérente avec le minimum exigé par l'ADEME, mais est en dessous de l'optimum économique de 2 MWh/ml que l'on constate sur les projets de réseaux de chaleur.

7 CONCLUSION

Cette étude porte sur la faisabilité de remplacement de la chaudière gaz actuelle du restaurant de l'IMT Albi.

Suite à un état des lieux de la chaufferie, l'étude s'est portée sur la possibilité de remplacer une partie de la production gaz par une pompe à chaleur (PAC) et une installation solaire thermique. Deux scénarios proposant chacun deux options ont été présentés. Afin de compléter cette étude, certaines variantes avec une installation solaire photovoltaïque ont été proposées. Les options et variantes présentées sont les suivantes :

- Scénario n°1 : Sans installation solaire thermique
 - Option n°1 : Mise en place d'une PAC classique de 40 kW
 - Variante n°1 : Sans installation photovoltaïque
 - Variante n°2 : Avec installation photovoltaïque et autoconsommation de la PAC uniquement
 - Option n°2 : Mise en place d'une PAC haute température de 40 kW
 - Variante n°1 : Sans installation photovoltaïque
 - Variante n°2 : Avec installation photovoltaïque et autoconsommation de la PAC uniquement
- Scénario n°2 : Avec installation solaire thermique
 - Option n°1 : Mise en place d'une PAC classique de 40 kW
 - Variante n°1 : Sans installation photovoltaïque
 - Variante n°2 : Avec installation photovoltaïque et autoconsommation de la PAC uniquement
 - Option n°2 : Mise en place d'une PAC haute température de 40 kW
 - Variante n°1 : Sans installation photovoltaïque
 - Variante n°2 : Avec installation photovoltaïque et autoconsommation de la PAC uniquement
- Scénario n°3 : Mise en place d'une production de géothermie sur sondes avec une PAC eau/eau

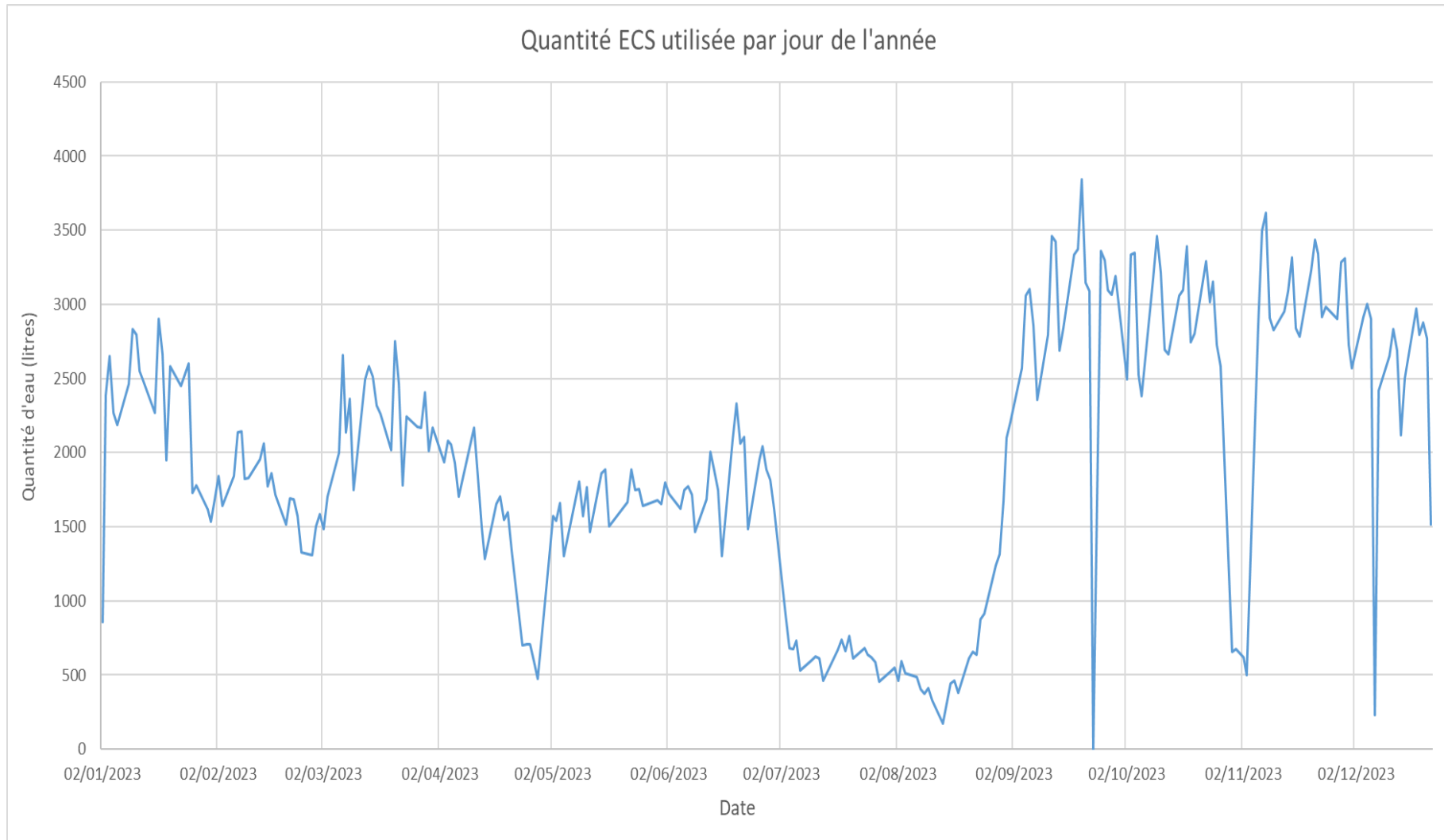
Finalement cette étude montre que :

- L'utilisation d'une PAC haute température permettrait de couvrir davantage de besoins en chaleur que la PAC classique, augmentant les économies d'énergie, diminuant les émissions de CO₂ et réduisant les temps de retour sur investissement ;
- La mise en place de panneaux photovoltaïques augmente les économies annuelles liées à l'utilisation des énergies et permet de faire de la revente sur la part non utilisée mais augmente les temps de retour sur investissement de quelques années ;
- L'installation de panneaux solaires thermiques pour couvrir les besoins en ECS ne semble pas pertinente du fait des prix assez élevés de ces systèmes, mais surtout des faibles besoins du restaurant l'été (moment où la production solaire est la plus importante) limitant la capacité d'installation de panneaux solaires thermiques afin d'éviter une caramélisation du glycol.
- La mise en place d'une production géothermique est fortement bénéfique d'un point de vue environnemental et décarbonation. Cependant, son intérêt économique reste limité dans le cadre d'une couverture des besoins à 100%.

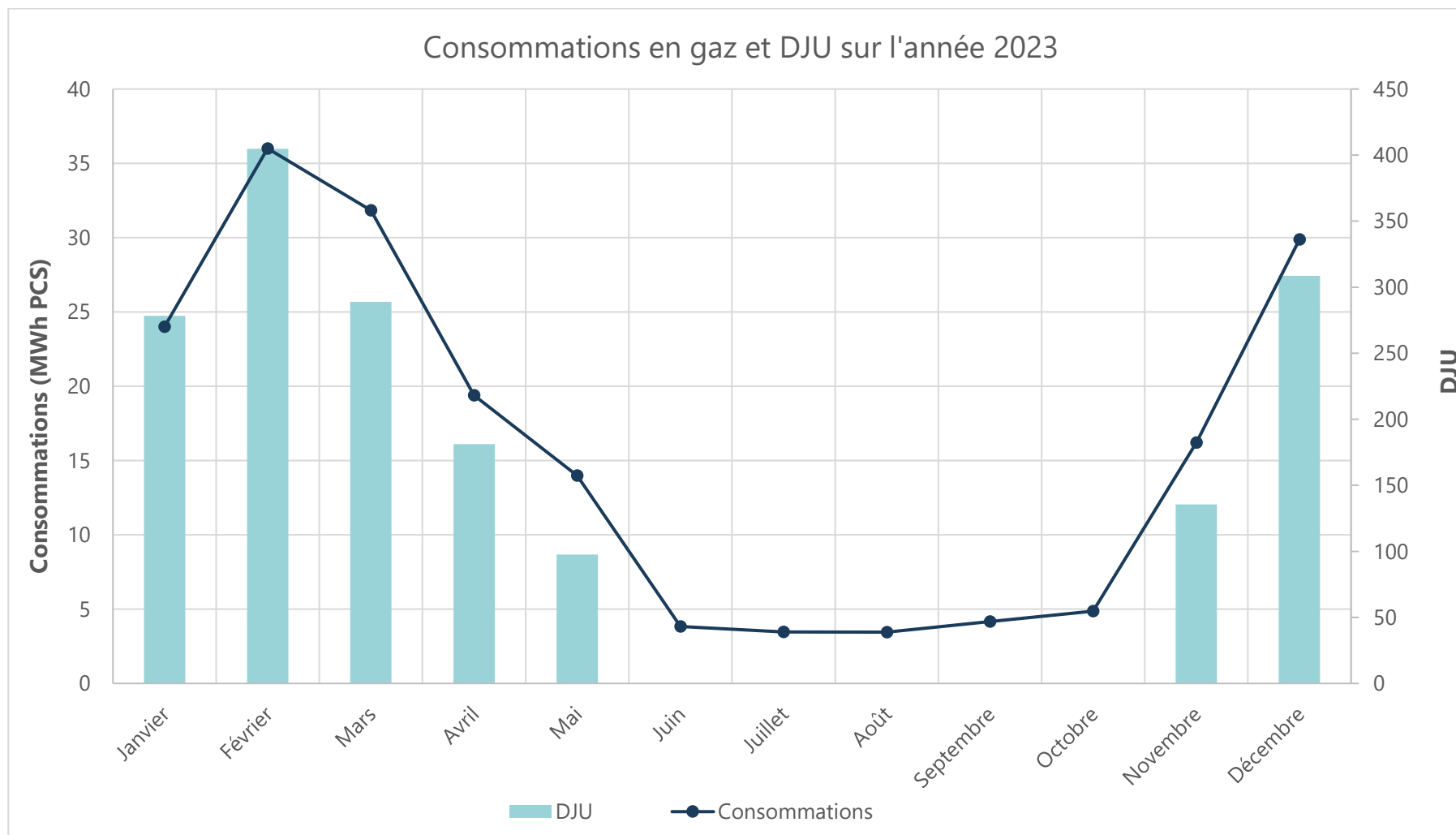
Concernant l'hypothèse de création d'un réseau de chaleur interne sur les bâtiments de l'école (hors bâtiment d'enseignement), il n'est pas possible de savoir, à l'échelle macroscopique, si un tel projet peut-être économiquement viable. Cependant, avec une densité de 1,5 MWh/ml (à savoir le minimum exigé par l'ADEME), ce projet pourrait être approfondi pour conclure sur un prix de la chaleur résultant et sur la faisabilité technique d'un tel réseau.

8 ANNEXES

8.1 ANNEXE 1 – CONSOMMATION JOURNALIERE ECS



8.2 ANNEXE 2 – CONSOMMATIONS DU RESTAURANT



8.3 ANNEXE 3 – PHOTOGRAPHIES SONDES GEOTHERMIQUES



Figure 4 : Photographie d'un collecteur enterré



Figure 3 : Photographie d'un réseau de sondes géothermiques