

Projet Mécanique des fluides – Caloriers en sous-sol



Groupe 3 : PEYE – HUSSON – MOLLET-JULIEN

Table des matières

1. Introduction	3
1.1 Contexte :	3
1.2 Problématiques :	3
1.2.1 Livrable 1 :	3
1.2.2 Livrable 2 :	3
1.2.3 Livrable 3 :	3
2. Livrable 1	4
2.1 Critères :	4
2.2 Contraintes :	5
3. Livrable 2	6
3.1 Choix de la PAC :	6
3.2 Etude de la surface d'échange des radiateurs :	7
3.3 Calcul du débit froid entre l'échangeur et la PAC :	7
3.4 Dimensionnement de l'échangeur :	8
4. Livrable 3	9
4.1 dimensionnements circuits froid :	10
4.1 dimensionnements circuits eau usée :	11
5. Conclusion	12

1. Introduction

1.1 Contexte :

La Mairie de Paris a mis en place des orientations énergétiques à travers le Plan Climat Air Énergie Territorial. Il fixe l'objectif ambitieux d'une neutralité carbone pour l'année 2050.

La cloacothermie (de cloaca, égout en latin) consiste à récupérer l'énergie disponible dans les eaux usées à partir d'un échangeur c'est ce qui correspond à la récupération de chaleur des eaux usées en égout.

Le potentiel dans les réseaux d'assainissement est conséquent. En effet, La température des effluents pour les ouvrages considérés peut varier de 10°C à 20°C avec une moyenne de 14°C de décembre à février. Ce potentiel de récupération d'énergie est de l'ordre de 45 000 MWh de chaleur par an pour la ville de Paris.

Enjeux pour la collectivité :

- Contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour l'accomplissement de l'objectif neutralité carbone à l'horizon 2050,
- Développer des productions d'énergies renouvelables produites localement
- Préserver l'environnement en diminuant les enjeux climatiques défavorables.

1.2 Problématiques :

1.2.1 Livrable 1 :

- Récupérer la chaleur dans le collecteur d'égout pour couvrir les besoins des trois établissements.

1.2.2 Livrable 2 :

- Couvrir plus de 75% des besoins énergétiques à partir de la chaleur de l'égout.
- Dimensionner les circuits de la chaufferie sortie PAC et choisir les pompes de chauffage.

1.2.3 Livrable 3 :

- Dimensionner le réseau hydraulique.

2. Livrable 1

2.1 Critères :

Critères : Système	Disponibilité du système	Efficacité	Maintenances	Accessibilité	Prix	Nombre d'étapes	Impact écologique	Compatibilité et raccordement
Thermliner								
Energido								

1. Disponibilité du système : le système peut-il être en action 24/24 et 7/7
2. Efficacité : notre système a un bon rendement, l'échangeur chauffe plus ou moins notre fluide caloporteur.
3. Mainténances : fréquences / cout / praticité
 Fréquence des maintenances limitées
 Cout des maintenances : cout pouvant être lié à chaque intervention
 Mainténances préventive (niveau de maintenance) : NIVEAU 1 Réglages simples sans démontage ; NIVEAU 2 Dépannages avec pièces à proximité ; NIVEAU 3 Travaux spécialisés ; NIVEAU 4 Travaux importants ; NIVEAU 5 Rénovation, reconstruction
 Corrective (panne) : Qui fait les réparations ? Un employé municipal ou faut-il passer appel fabricant ? (Délai intervention qui amène possiblement indisponibilité du système)
4. Accessibilité : L'installation doit être accessible pour la mise en place, la surveillance et les maintenances.
5. Prix : prise en compte du prix des équipements, de l'installation, de la mise en service et des maintenances. Retour sur investissement.
6. Nombre d'étapes : Installation fluide pas de point de blocage ou d'étranglement, limitation d'intervention sur les équipements car moins nombreux.
7. Impact écologique : les méthodes de fabrication des matériaux et matériels de notre système et respectueux pour l'environnement.
8. Compatibilité et raccordement : Les raccordements entre le réseau des eaux usées et l'installation doivent être compatibles.

2.2 Contraintes :

- Objectif d'un collège, d'un centre sportif et de deux écoles maternelles.
- Couvrir plus de 75% des besoins énergétiques à partir de la chaleur de l'égout.
- Ne pas perturber le fonctionnement et les performances du réseau existant.

3. Livrable 2

3.1 Choix de la PAC :

Les besoins énergétiques de la chaufferie sont de $E=300$ MWH par an. Il faut couvrir plus de 75% des besoins en puissance sans appoint de chaleur dans la chaufferie. La température intérieure dans les locaux doit être de 19°C . La sévérité du climat est donnée par les DJU à Paris (réf 2019). Les circuits de chauffage central sont dimensionnés actuellement pour une eau entrée radiateur à 60° lorsque la température extérieure est minimum. Le choix du constructeur proposé par le comité de pilotage est CIAT. Lorsqu'il fait très froid dehors, les températures entre le BAC de mélange et les radiateurs sont actuellement celles-ci : température de départ eau chaude (Sortie BAC) : $T_d = 60^{\circ}\text{C}$; température de retour eau chaude (Sortie radiateurs) : $T_r = 50^{\circ}\text{C}$. Au plus froid la température extérieure peut atteindre les -1°C .

Tout d'abord, il nous faut déterminer la puissance de chauffe nécessaire de la PAC :

On sait que les besoins énergétiques d'un bâtiment sur un an sont de 300 MWh. On en déduit donc une puissance moyenne $P_{moy} = \frac{300000}{365 \times 24} = 34 \text{ kW}$. Le DJU de Paris étant de 1900 sur l'année 2019, on calcule $\Delta T_{moy} = \frac{DJU}{365} = \frac{1900}{365} = 5,2^{\circ}\text{C}$. Ensuite, on détermine $\Delta T_{max} = T_{int} - T_{ext} = 19 - (-1) = 20^{\circ}\text{C}$. Enfin :

$$P_{moy} \rightarrow \Delta T_{moy}$$

$$P_{max} \rightarrow \Delta T_{max}$$

Après un produit en croix, on trouve $P_{max} = \frac{\Delta T_{max} \times P_{moy}}{\Delta T_{moy}} = \frac{20 \times 34}{5,2} = 130,8 \text{ kW}$.

Enfin, la PAC doit couvrir 75% des besoins totaux donc : **$P_{PAC} = 0,75 \times P_{max} = 98,1 \text{ kW}$** .

Après avoir étudié les modèles proposés, notre choix s'est arrêté sur le modèle **Dynaciat LG 300 HW3**. En effet, ce modèle est de type eau/eau, sa puissance calorifique maximale est de 103 kW et il peut délivrer en sortie une eau à 55°C .

DYNACIAT LG				080	090	100	120	130	150	180	200	240	260	300
Chauffage														
Unité standard Performances pleine charge*	HW1	Capacité nominale	kW	30	35	38	44	51	56	70	77	89	101	114
		COP	kW/kW	5,48	5,48	5,44	5,47	5,43	5,45	5,49	5,40	5,46	5,42	5,47
	HW2	Capacité nominale	kW	29	33	36	43	49	54	68	74	85	97	108
		COP	kW/kW	4,31	4,33	4,32	4,33	4,37	4,31	4,35	4,30	4,27	4,36	4,29
	HW3	Capacité nominale	kW	28	33	35	41	47	52	65	73	81	93	103
		COP	kW/kW	3,57	3,61	3,59	3,58	3,65	3,59	3,55	3,60	3,51	3,68	3,54

HW3

Conditions en mode chauffage : Température entrée/sortie d'eau à l'évaporateur $10^{\circ}\text{C}/7^{\circ}\text{C}$, température entrée/sortie d'eau au condenseur $47^{\circ}\text{C}/55^{\circ}\text{C}$, facteur d'encrassement de l'évaporateur 0 m^2 . kW

3.2 Etude de la surface d'échange des radiateurs :

Lorsqu'il fait très froid dehors, les températures entre le BAC de mélange et les radiateurs sont actuellement celles-ci : température de départ eau chaude (Sortie BAC) : $T_d = 60^\circ\text{C}$; température de retour eau chaude (Sortie radiateurs) : $T_r = 50^\circ\text{C}$. Les températures d'entrée et sortie d'eau de notre modèle de PAC du côté de la chaudière sont respectivement $T_e = 47^\circ\text{C}$ et $T_s = 55^\circ\text{C}$.

D'après la loi de Newton on sait que $P = S * \Delta T * U$.

Dans le cas où la surface d'échange est inchangée : $\frac{P_1}{P_2} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{T_d - T_r}{T_s - T_e} = \frac{60 - 50}{55 - 47} = \frac{10}{8} = 1,25$.

Dans le cas où la température est inchangée : $\frac{P_1}{P_2} = \frac{S_1}{S_2}$.

Ainsi : $\frac{S_1}{S_2} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = 1,25$.

où :

- P_1 est la puissance entre le radiateur et la chaudière
- P_2 est la puissance entre la PAC et la chaudière
- ΔT_1 est la différence de température entre le radiateur et la chaudière
- ΔT_2 est la différence de température entre la PAC et la chaudière
- S_1 est la surface d'échange entre le radiateur et la chaudière
- S_2 est la surface d'échange entre la PAC et la chaudière

On en déduit donc que la surface d'échange devra être augmentée de **25%**.

3.3 Calcul du débit froid entre l'échangeur et la PAC :

La COP de notre modèle nous est donnée dans sa fiche technique citée plus haut, $\text{COP} = 3,54$. Sa puissance calorifique est de 103 kW. Les températures d'entrée et sortie d'eau de notre modèle de PAC du côté de l'échangeur sont respectivement $T_e = 10^\circ\text{C}$ et $T_s = 7^\circ\text{C}$. La chaleur spécifique est considérée équivalente dans les circuits chaud et froid et égale à $C_p = 4186 \text{ W/kg.K.s}$.

On cherche maintenant le débit minimum froid entre l'échangeur et la PAC.

$$\text{COP} = \frac{P_{\text{chaud}}}{P_{\text{chaud}} - P_{\text{froid}}}$$

$$\text{donc } P_{\text{froid}} = P_{\text{chaud}} - \frac{P_{\text{chaud}}}{\text{COP}} = 73,9 \text{ kW}$$

où :

- P_{chaud} est la puissance calorifique de la PAC
- P_{froid} est la puissance frigorifique de la PAC

Or on sait que : $P_{\text{froid}} = Q_{\text{froid}} * C_p * \Delta T_{\text{froid}}$

donc $Q_{\text{froid}} = \frac{P_{\text{froid}}}{C_p * \Delta T_{\text{froid}}} = \frac{P_{\text{froid}}}{C_p * (T_e - T_s)} = \frac{73900}{4186 * (283,5 - 280,5)} = 5,88 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

3.4 Dimensionnement de l'échangeur :

Nous avons calculé les débits maximums de chaque échangeur proposé, avec la vitesse maximum donnée par le constructeur soit 1m/s

	S	H	B	Spacing	s	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /h)
pour V=1m/s	2	500	0,36	0,005	0,0018	0,0018	6,48
	2,1	600	0,36	0,008	0,00288	0,00288	10,368
	4,3	600	0,42	0,005	0,0021	0,0021	7,56
	4	700	0,42	0,008	0,00336	0,00336	12,096
	8	700	0,555	0,005	0,002775	0,002775	9,99
	8,8	925	0,48	0,008	0,00384	0,00384	13,824
	13,5	800	0,84	0,006	0,00504	0,00504	18,144
	29,3	1400	0,84	0,01	0,0084	0,0084	30,24
	29,3	1400	0,84	0,012	0,01008	0,01008	36,288

Nous avons donc sélectionné l'échangeur Modèle 30 L car c'est le seul qui proposé un débit suffisant en respectant la plage de vitesse imposée par le constructeur.

Nous avons ensuite calculé le débit minimum dans l'échangeur du coté chaud avec une vitesse de 0.4m/s.

	S	H	B	Spacing	s	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /h)
pour V=0,4m/s	2	500	0,3	0,005	0,0015	0,0006	2,16
	2,1	600	0,36	0,008	0,00288	0,001152	4,1472
	4,3	600	0,36	0,005	0,0018	0,00072	2,592
	4	700	0,42	0,008	0,00336	0,001344	4,8384
	8	700	0,42	0,005	0,0021	0,00084	3,024
	8,8	925	0,555	0,008	0,00444	0,001776	6,3936
	13,5	800	0,48	0,006	0,00288	0,001152	4,1472
	29,3	1400	0,84	0,01	0,0084	0,00336	12,096
	29,3	1400	0,84	0,012	0,01008	0,004032	14,5152

Dans un échangeur $P_{chaud} = P_{froid}$

Donc avec la formule $P = Q * C_p * \Delta t$

Où P est la puissance

Q est le débit

C_p est la chaleur spécifique

Δt La différence de température entre l'eau en entrée et en sortie de l'échangeur

$$\text{Donc } \Delta t = \frac{P}{Q * C_p} = \frac{73900}{4.032 * 4186} = 4.38^\circ C$$

La température de sortie de l'eau chaude étant plus froide que celle d'entrée on trouve la température de sortie de l'eau chaude.

$$T_s = T_e - \Delta T = 14 - 4.38 = 9.62^\circ C$$

On peut calculer maintenant Δt_{lm}

$$\Delta t_{lm} = \frac{(T_{echaud} - T_{sfroid}) - (T_{schaud} - T_{efroid})}{\ln\left(\frac{T_{echaud} - T_{sfroid}}{T_{schaud} - T_{efroid}}\right)} = 3.26$$

Nous avons maintenant Δt_{lm} et avec la surface d'échange S et le coefficient global d'échange U nous pouvons calculer la puissance de l'échangeur.

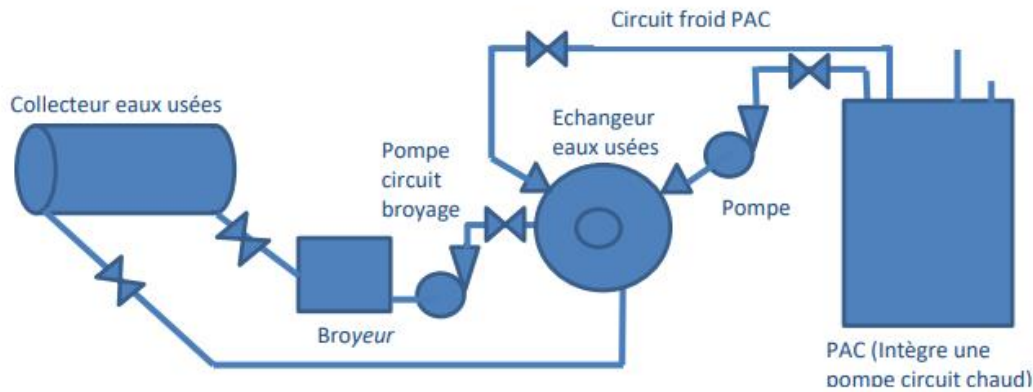
$$P = U * S * \Delta t_{lm} = 124173 \text{ W}$$

4. Livrable 3

Pour ce livrable veuillez considérer le fichier Excel joint avec ce document.

Pour ce qui est du dimensionnement de notre circuit hydraulique nous avons dans un premier temps, choisi de rassembler toutes les données connues et facilement calculables dans un Excel, afin de pouvoir faire varier certains paramètres lors de nos calculs.

Pour les deux circuits nous avons mélangé les informations données et le schéma suivant :



4.1 dimensionnements circuits froid :

Nous commençons ici par le circuit froid reliant l'échangeur à la PAC. Afin de choisir les composants de notre circuit notamment le diamètre de nos tuyaux on a dû calculer les pertes de charge liées à notre circuit on a donc pris par défaut la pompe la moins puissante (HF 4) car elle peut délivrer le débit de 6l/s dont nous avons besoin.

Tous les calculs de perte de charge singulière que vous pourriez trouver dans le tableau nous avons considérés les singularités comme des points.

Nous avons séparé les pertes de charges régulières et singulières, pour les pertes régulières nous avons utilisé la formule :

$$\Delta P_{\text{rég}} = \frac{\lambda \cdot L \cdot \rho \cdot v^2}{2 \cdot D}$$

Avec $\lambda = 0.79 \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{D}}$ où ε est la rugosité absolue de la canalisation (m) et avec une longueur de tuyaux de 8m.

Pour ce qui est des pertes de charges singulières nous avons utilisé la formule :

$$\Delta P_{\text{sing}} = \frac{\zeta \cdot \rho \cdot v^2}{2}$$

Formule dans laquelle le plus dur était de déterminer ζ le coefficient de contraction (su) pour chaque singularité.

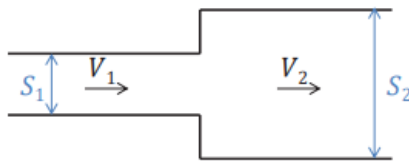
Nous avons pu définir plusieurs singularités :

- Coudes 180° (coef connue sur internet) au nombre de 7
- Vannes (coef calculer avec la méthode des 3K) au nombre de 2
- Agrandissement échangeur

- Rétrécissement échangeur
- Agrandissement PAC
- Rétrécissement PAC
- Agrandissement pompe
- Rétrécissement pompe

Pour les agrandissements et rétrécissements nous avons utilisé les formules :

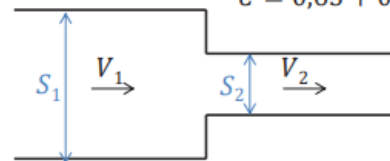
Évasement brusque : $\zeta_{th} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2$



Rétrécissement brusque :

$$\zeta_{th} = \left(\frac{1}{C} - 1\right)^2$$

$$C = 0,63 + 0,37 \left(\frac{S_2}{S_1}\right)$$



Une fois toutes les pertes de charges calculer on les ajoute toute sans oublier celles de l'échangeur et de la PAC qui son hypothétiquement les mêmes. Nous nous sommes alors rendu compte que la première pompe ne correspondait pas à la hauteur manométrique de la pompe un a donc pris la HFC6 qui après recalcule fonctionne parfaitement avec notre circuit et des tuyaux que nous avons pu fixer à 0.06m de diamètre.

4.1 dimensionnements circuits eau usée :

Passons au circuit d'eau usée entre les égout et l'échangeur. Pour toute la partie perte de charge nous avons utilisé les mêmes formules il nous fallait cependant choisir un broyeur qui vient se positionner avant la pompe et notre échangeur. Nous avons donc pris le broyeur le plus petit un HPL300 DN 100 car il a le plus petit débit max et comme nous avons que 14.5m³/h et avec un diamètre de 100mm nous avons la même dimension que la sortie et entrée de notre échangeur ce qui facilite les calculs de changement de sections et leur choix pour l'achat final. Comme notre broyeur est co-courant il ne gêner pas de pertes de charge supplémentaire. On prend encore la plus petite pompe (HF4).

On a donc comme pertes de charges :

- Coudes 180° (coef connue sur internet) au nombre de 3
- Vannes (coef calculer avec la méthode des 3K) au nombre de 3
- Agrandissement échangeur
- Rétrécissement échangeur
- Agrandissement pompe
- Rétrécissement pompe
- Agrandissement broyeur
- Rétrécissement broyeur

Une fois toutes les pertes de charges calculer on les ajoute toute sans oublier celles de l'échangeur. Nous nous sommes alors rendu compte que la première pompe ne correspondait pas à la hauteur manométrique de la pompe. Pour ajuster en augmentant la hauteur manométrique il faudrait placer la sortie du circuit (retour dans les égouts) à un auteur d'environ 2.75m par rapport à l'entrée du circuit ce qui permettrait que notre pompe corresponde parfaitement avec notre circuit et des tuyaux que nous avons pu fixer à 0.06m de diamètre.

Nous avons donc pour l'intégralité de notre circuit 16m de tuyaux de 0.06m de diamètre, 5 vannes identique, 10 coudes en U de 0.06m de diamètre, 6 changements de section pour échangeur et broyeur, 2 pour la PAC, 2 pour la pompe HF4, 2 pour la pompe HFC6.

5. Conclusion

Nous avons pu dans un premier temps déterminé il y a une sélection de critères quelle méthode nous allons utiliser pour chauffer les bâtiments. Une fois la méthode d'échange déterminé il nous reste à choisir les éléments à mettre dans notre circuit. Pour ce faire nous avons dû choisir une pompe à chaleur qui puisse répondre au besoin d'un bâtiment ainsi que l'échangeur qui, lui est relié au système des égouts qui permet de prendre l'énergie de ces derniers pour la transmettre notre pompe à chaleur ce qui permet de réduire la consommation de la PAC. Une fois nos composants choisis il fallait les relier nous avons donc dû déterminer la tuyauterie et les pompes permettant de faire circuler les fluides une fois tous les composants et le circuit déterminé il ne reste plus qu'à passer commande et se préparer à l'installation.