

# PROJET MECANIQUE DES FLUIDES *CALORIES EN SOUS-SOL* GUIDE TUTEUR

01/09/2020

---



Photo Mairie de Paris – Rapport de cycle ingénieur L.F. mai 2019

# SOMMAIRE

---

<b>1</b>	<b>RÉFÉRENCE DU PROJET</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>PRÉAMBULE</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>PHASES, SÉQUENCES PÉDAGOGIQUES ET ACTIVITES PROJET FIL ROUGE</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>ACQUIS D'APPRENTISSAGE VISES</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>TABLEAU DES ÉVALUATIONS</b>	<b>9</b>
	CCTLs	9
	RAPPORT FINAL	10
<b>6</b>	<b>DESCRIPTION PROJET FIL ROUGE</b>	<b>11</b>
	Préambule	11
	Enjeux pour l'entreprise :	11
	Lancement du projet CPI	11
	Problématiques :	12
	Objectifs généraux de l'étude	12
	Documents ressources :	12
<b>7</b>	<b>LIVRABLES</b>	<b>13</b>
	Activité 1 :	13
	Description du travail à réaliser :	13
	Éléments de correction	13
	Activité 2 choix de la PAC et Dimensionnement de l'échangeur:	15
	Démarche du calcul	15
	Éléments de correction	17
	Puissance de la PAC	17
	Remarques :	16
	Activité 3.1 – Dimensionnement des circuits:	20
	Description du travail à réaliser :	Erreur ! Signet non défini.
	Éléments de correction :	Erreur ! Signet non défini.

# 1 RÉFÉRENCE DU PROJET

---

Version	Date	Concepteurs	Relecteurs	Commentaires
1	22/06/2020	APA	GAR- HDN - CEVR	
2	30/09/2020	APA	BJE	Correction et relecture Liv 1 et 2 (En cours)

## 2 PRÉAMBULE

---

Le projet « mécanique des fluides », dispensé aux élèves de deuxième année du Cycle préparatoire d'Ingénieur (CPI) est commun à la mineure généraliste et BTP ; il a pour objet d'ancrer les connaissances et les compétences de base dans le domaine général des fluides et plus précisément dans les domaines suivants :

- Mécanique des fluides.
- Hydraulique urbaine et effluents industriels
- Echangeurs.
- Voirie et maintenance des installations.
- Machines thermiques.
- Climatisation, ventilation, chauffage.
- Dimensionnement d'un réseau.

Le projet

Le projet porte sur la récupération de chaleur d'une partie du réseau des égouts de Paris. La mairie souhaite récupérer cette chaleur pour le chauffage urbain. Le collecteur d'égout a été choisi. On vous missionne pour ce projet. Vous aurez à répondre à des problématiques de choix et de dimensionnement, depuis les eaux usées jusqu'au réseau de chaleur des utilisateurs.

Le projet *mécanique des fluides* cible les niveaux de 1 à 5 d'acquisition de connaissances définis par la taxonomie de Bloom.

Positionné en amont dans le calendrier de la formation Ingénieur juste après le projet matériaux, il constitue, pour les élèves ingénieurs, la deuxième étape de leur processus d'apprentissage du domaine du génie industriel et du monde du BTP.

Il introduit les prérequis indispensables aux apprentissages des notions les plus avancées de ce domaine, programmés ultérieurement dans le cursus du cycle ingénieur généraliste et BTP.

### 3 PHASES, SÉQUENCES PÉDAGOGIQUES ET ACTIVITES PROJET FIL ROUGE

Le projet *mécanique des fluides* est structuré en 12 séquences pédagogiques regroupées en 4 phases (Tableau 1 : Phases, séquences pédagogiques et modalités d'apprentissage). Tout au long de cette progression pédagogique, les élèves devront également réaliser les 3 activités du PROJET FIL ROUGE (Tableau 2 : Activités Projet Fil Rouge, séquences pédagogiques associées et livrables projet).

Phases	Séquences	Modalités pédagogiques
Découverte	Hydrostatique	Rappel de cours et exercices dans ce domaine
Mécanique des fluides, hydraulique urbaine et échangeurs à chaleur	Workshop de mathématiques - Intégrales multiples, champ de pression, champ de vitesse	Workshop
	Dynamique des fluides	PROSIT 1
	WS Fluides réels	Workshop
	Hydraulique urbaine	PROSIT 2
	Dimensionnement d'un échangeur	PROSIT 3
	Voirie, réseaux et maintenance	PROSIT 4
Exploitation de la chaleur	Machines thermiques	PROSIT 5
	WS pompes à chaleur - Cycle thermodynamique	Workshop
	Climatisation, Ventilation, Chauffage (CVC)	PROSIT 6
Dimensionnement des réseaux	Dimensionnement d'un réseau hydraulique	PROSIT 7
	WS Pompes centrifuges	Workshop

*Tableau 1 : Phases, séquences pédagogiques et modalités d'apprentissage*

Activités : Projet Fil Rouge	Séquences pédagogiques associées	Livrables Projet Fil Rouge associés
Activité 1 : Evalué	Jusqu'à la fin du Prosit 4	Livrable 1 : Comment faire un choix de solution d'échangeur compatible. Critères de décision
Activité 2 : Evalué avec livrable 3	Jusqu'à la fin du Prosit 5	Livrable 2 : Choix et dimensionnement de la pompe à chaleur et de l'échangeur.
Activité 3 : Evalué avec livrable 2	Jusqu'à la fin du Prosit 7	Livrable 3 : Dimensionnement des circuits de la chaufferie et choix des pompes de chauffage.
L'oral du projet : Argumentaire devant un jury	Tout le projet	Les élèves devront présenter le contexte et la démarche adoptée dans le projet. Ils devront donner l'efficacité globale de l'installation. Ils devront fournir un argumentaire pour remettre en cause certains choix et en valider d'autres et aussi comment améliorer l'efficacité de l'installation.

*Tableau 2 : Activités Projet Fil Rouge, séquences pédagogiques associées et livrables projet*

## 4 ACQUIS D'APPRENTISSAGE VISES

Domaines pédagogiques	Acquis d'apprentissage visés	Niveaux BLOOM
Domaines		
Statique des fluides	Etablir l'équation locale de la statique des fluides à partir d'un bilan de forces	3
	Déterminer un champ de pression	3
	Calculer la résultante des forces de pression sur une surface	3
Mathématiques	Calculer un champ scalaire	3
	Calculer un champ vectoriel	3
	Etudier une fonction de plusieurs variables	3
	Calculer une intégrale multiple	3
Dynamique des fluides	Appliquer le théorème Bernoulli sur un fluide en mouvement	3
	Distinguer un écoulement d'un fluide parfait d'un écoulement d'un fluide réel	2
	Distinguer un écoulement à surface libre d'un écoulement en charge	2
	Calculer les pertes de charges singulières ou régulières	3
	Déterminer les différents types d'écoulement d'un fluide réel à l'aide de nombre adimensionnel	3
Hydraulique urbaine / Environnement	Déterminer les débits à prendre en compte pour dimensionner un réseau d'eaux pluviales	3
	Proposer le dimensionnement du réseau assainissement pluviale en ayant pris en compte les techniques environnementales	4
Dimensionnement d'un échangeur	Déterminer le coefficient global d'un échangeur	3
	Détecter les paramètres influençant le coefficient global (soit pour chauffer soit pour isoler)	4
	Comparer les modes de fonctionnement des échangeurs (fluides à co ou contre-courant)	4
	Sélectionner un échangeur pour un circuit hydraulique (plaques, tubulaire, à faisceau, calandre....)	4

Domaines pédagogiques	Acquis d'apprentissage visés	Niveaux BLOOM
Voirie et maintenance	Décrire le secteur des VRD	
	Expliquer le rôle des différentes couches constitutives de la chaussée	2
	Analyser les contraintes posées par les différents réseaux enterrés sous la chaussée	3
	Prendre en compte la maintenance dans la réalisation et la pérennité des installations de VRD	3
Thermodynamique	Appliquer le premier principe de la thermodynamique	3
	Utiliser les cycles thermodynamiques	3
	Calculer les échanges de chaleur lors de changements de phase	3
	Proposer une installation type machine thermique pour un bâtiment	5
Climatisation / Ventilation / Chauffage	Décrire les différents réseaux d'équipements fluides d'un bâtiment pour les applications de CVC	2
	Argumenter un choix de pompe à chaleur ou de système de récupération d'énergie pour un système de chauffage de bâtiment	4
	Utiliser le diagramme enthalpique de l'air humide	3
Dimensionnement d'un réseau hydraulique	Comparer des circuits équipés de deux pompes centrifuges en série ou en parallèle	4
	Différencier les types de pompes existantes	2
	Sélectionner les organes hydrauliques adéquats	4
	Sélectionner une pompe pour répondre à un réseau hydraulique particulier (HMT, NPSH)	4



## 5 TABLEAU DES ÉVALUATIONS

### CCTLs

N°	Date	Durée	Intitulé	Acquis d'apprentissage visés
	19/11/2020	1h	CCTL Intégrales multiples	Tous maths
	19/11/2020	1h	CCTL Statique et Dynamique des fluides	Tous Mécanique des fluides
	03/12/2020	1 h	CCTL Echangeurs (thermique + thermodynamique)	Tous échangeurs et Thermique/Thermo
	A planifier	15 mn / ét.	Evaluation individuelle - CVC	CVC
	03/12/2020	1h	CCTL Dimensionnement d'un réseau hydraulique (circuit hydraulique avec choix d'une pompe )	Tous dimensionnement d'un réseau
	03/12/2020	30 mn	CCTL - Hydraulique urbaine et Voirie/maintenance	Tous Hydraulique urbaine et voirie

Tableau 3 : CCTLs et acquis d'apprentissage visés

# RAPPORT FINAL

projet fil rouge	Acquis d'apprentissage visés
Livrable 1	Sélectionner un échangeur pour un circuit hydraulique
	Détecter les paramètres influençant le coefficient global d'un échangeur
Livrable 2 et	Déterminer le coefficient global d'un échangeur
	Détecter les paramètres influençant le coefficient global d'un échangeur
	Appliquer le premier principe de la thermodynamique
	Proposer un modèle de pompe à chaleur pour un système de chauffage de bâtiment
	Décrire les différents réseaux d'équipements fluides d'un bâtiment
Livrable 3	Différencier les types de pompes existantes
	Sélectionner les organes hydrauliques adéquat
	Sélectionner une pompe pour répondre à un réseau hydraulique particulier (HMT, NPSH)
	Comparer des circuits équipés de deux pompes centrifuges en série ou en parallèle
Argumentaire devant un jury	Détecter les paramètres influençant le coefficient global d'un échangeur
	Sélectionner un échangeur pour un circuit hydraulique (plaques, tubulaire, à faisceau, calandre....)
	Proposer un modèle de pompe à chaleur pour un système de chauffage de bâtiment
	Décrire les différents réseaux d'équipements fluides d'un bâtiment (Ou d'une installation)
	Sélectionner les organes hydrauliques adéquats

Tableau 4 : Rapport final et Acquis d'Apprentissage Visés

## 6 DESCRIPTION PROJET FIL ROUGE

### Préambule

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**.

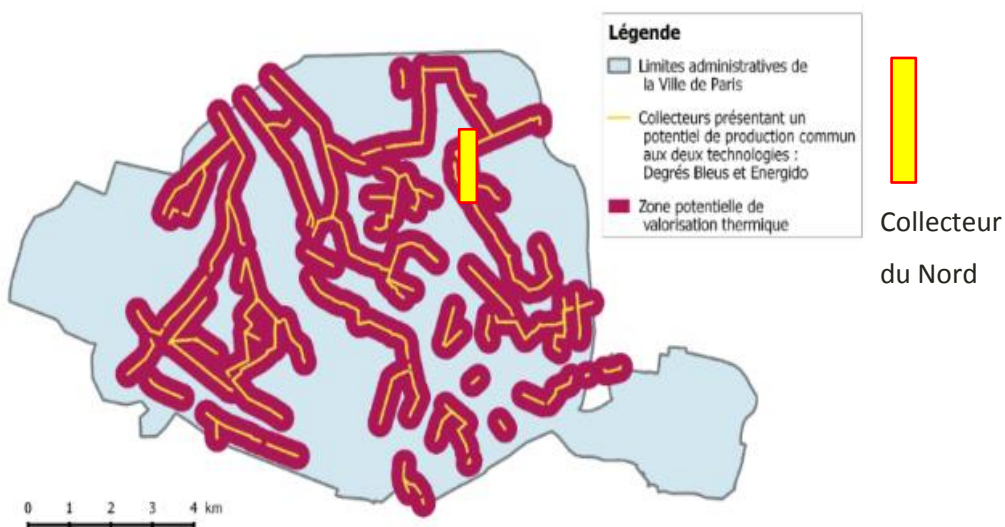
**Le potentiel dans les réseaux d'assainissement est conséquent.** En effet, La température des effluents pour les ouvrages considérés peut varier de 10°C à 20 °C avec une moyenne de 14 °C de décembre à février. Ce potentiel de récupération d'énergie est de l'ordre de 45 000 MWh de chaleur par an pour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

### Lancement du projet CPI

Le choix s'est porté sur le collecteur d'égout ci-dessous. La chaleur récupérée servira au chauffage d'un collège, d'un centre sportif et de deux écoles maternelles



## Problématiques :

Problématique globale : Quelle installation est capable de récupérer la chaleur dans le collecteur d'égout pour couvrir les besoins des trois établissements ?

- Comment réaliser l'échange de chaleur dans les collecteurs d'égouts ?
- Comment dimensionner les installations ?

## Objectifs généraux de l'étude

Cette étude va se baser sur les caractéristiques **d'une partie du réseau d'assainissement** concerné et **d'autre part des équipements à raccorder**. Il conviendra de :

- Couvrir plus de 75% des besoins énergétiques à partir de la chaleur de l'égout.
- Déterminer l'efficacité de l'installation à  $\pm 5\%$  près
- Dimensionner les circuits de la chaufferie sortie PAC et choisir les pompes de chauffage.

## Documents ressources :

- Dossier technique de l'installation

## 7 LIVRABLES

### Activité 1 :

#### Description du travail à réaliser :

La chaleur sera récupérée dans les eaux usées grâce à un échangeur. Deux systèmes ont été mis en concurrence (Voir dossier technique) :

- Le système **Thermliner**
- Le système **Energido**

Le comité de pilotage a retenu le système Energido. Ce choix est fortement préconisé par la collectivité qui souhaite travailler avec un fournisseur français dans la mesure où le comparatif est relativement équilibré.

- Si vous deviez prendre une telle décision quels critères objectifs pourriez-vous proposer. (Ne pas les quantifier vous-même). Présenter vos propositions dans une matrice de décision. Rédigez ensuite un guide qui a pour but d'expliquer chaque critère à des techniciens qui devront les quantifier en particulier l'efficacité de l'échangeur. A ce stade, ne pas prendre en compte l'installation aval dans cette comparaison (Pompe à chaleur et chaufferie).
- Recenser **les contraintes incontournables** à prendre en compte.

	Critères	Critères	Critère 1	Critère 1	...	Critère n
Systèmes						
ThermLiner						
Energido						
Autre technique						

<https://www.alfalaval.fr/produits/echange-thermique/echangeurs-de-chaleur-a-plaques/echangeurs-thermiques-spirales/>

### Éléments de correction

Le livrable 1 sera évalué

Les élèves devront attendre la fin du Prosit 4 pour intégrer la maintenance en tant que critère !

	Critères	Prix d'achat	Coût d'installation	Coût annuel de maintenance	Durée de la garantie	Efficacité énergétique du système	Durée apparente de retour sur investissement
Systèmes							
ThermLiner							
Energido							

**Prix d'achat** : Il s'agit du coût total du système. Prix négocié.

**Coût d'installation** : Coût d'installation + coût des infrastructures nécessaires (Etude, fournitures et pose)

**Coût annuel de maintenance** : Coût des consommables, des pièces détachées et coûts des heures d'intervention. Il sera nécessaire d'établir un plan de maintenance avec l'aide de professionnels et de chiffrer ce plan de maintenance annuel. Le coût du correctif est le plus difficile à estimer. On pourra fixer plus facilement le coût du préventif et déterminer un % de correctif résiduel progressif sur 5 ans. C'est le plus gros travail à réaliser pour choisir l'échangeur. On peut également s'appuyer sur le fabricant ou faire des appel d'offre pour une sous-traitance.

**Durée de la garantie** : Nombre d'années couvertes par la garantie et nature de cette garantie ; que couvre-t-elle ?

**Efficacité énergétique** : Il s'agit du rapport entre la quantité d'énergie annuelle récupérable et la quantité annuelle d'énergie consommée. La quantité d'énergie sera appréciée à l'entrée de la pompe à chaleur. La température à l'entrée de la PAC sera estimée.

**Durée apparente de retour sur investissement** : Coût total de l'installation divisé par le gain annuel d'énergie (Energie nette). Cette durée ne prend pas en compte l'installation aval, c'est une base de comparaison. La durée réelle de retour sur investissement sera calculée en prenant en compte toute l'installation.

#### Contraintes à prendre en compte :

- Encombrement maxi compte tenu de l'espace disponible (Hauteur max, largeur max, hauteur max)
- Puissance installée minimale
- Délai de livraison
- Durée max de mise en œuvre
- Durée de vie minimum.
- Le système ne s'encrasse pas malgré la nature chargée du fluide

## Livrable 2 choix de la PAC et Dimensionnement de l'échangeur:

### Situation pour le choix de la PAC

Les besoins énergétiques de la chaufferie qui 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.

\*DJU : Somme des écarts journaliers moyens de température sur une période de chauffe théorique de 232 jours. On peut considérer ici que les DJU sont aussi la somme des écarts journaliers moyens sur toute l'année

(Voir Fig 12 du dossier technique).

#### L'entreprise de chauffage qui doit fournir l'installation vous communique ceci :

*La PAC doit être équipée d'un moteur à vitesse variable pour s'adapter à la demande. L'installation doit disposer également d'une réserve d'eau chaude de 2m3 qui servira également de bac de mélange.*

*Nous attirons votre attention sur un détail important : 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) :  $T_r = 50^\circ\text{C}$

*Dans ce cas-là, il faut s'assurer que la PAC pourra suivre à cause de sa température maxi de sortie d'eau, la température de sortie d'eau chaudière doit être compatible avec celle de la PAC. Il sera sans doute nécessaire d'ajouter des radiateurs dans les locaux ;*

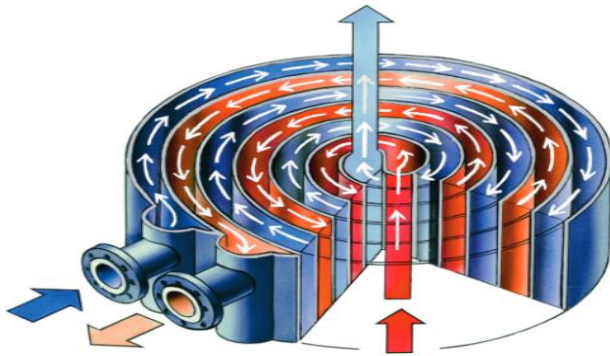
### Situation pour le choix de l'échangeur

**Echangeur** : l'échangeur *Alfa Laval SHE LTL* fait partie du système sachant que :

- Pour un fonctionnement optimum, le débit dans l'échangeur doit être régulier.
- On fera l'hypothèse que la chaleur spécifique des eaux usées est celle de l'eau
- On fera l'hypothèse que l'échangeur se comporte comme un échangeur à plaque à contre-courant et à circuit unique de largeur B(Body) et de surface S. (Voir tableau suivant)
- Le constructeur nous indique que le coefficient global d'échange en régime établi et équilibré (Aucun fluide n'épuise l'autre) est  $U \approx 1300 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  pour une vitesse  $v$  dans l'échangeur :  $0,4\text{m/s} < v < 1 \text{ m/s}$
- On prendra un coefficient de sécurité  $\sim 1,2$  pour la surface d'échange

**Remarques :**

Le site du constructeur Alpha Laval et les documentations s'y trouvant, vous aideront à faire les bonnes hypothèses simplificatrices pour déterminer la taille de l'échangeur.



Voir : *standard-spiral-heat-exchanger-for-liquid-to-liquid-duties---product-leaflet.pdf*

	Heat transfer area $s$	Dy	H = Body / 0,6	Spacing	A : Epaisseur passage chaud B : Epaisseur passage froid	Nozzles	Weight (empty)
Model	m2 (ft2)	mm (inch)	mm (inch)	mm (inch)		mm (inch)	kg (lbs)
2S	2 (21)	425 (17)	500 (20)	A=B= 5 (0.2)		50 (2)	185 (408)
2L	2,1 (23)	425 (17)	600 (24)	A=B= 8 (0.3)		50 (2)	195 (430)
4S	4,3 (46)	480 (19)	600 (24)	A=B= 5 (0.2)		50 (2)	285 (628)
4L	4 (43)	480 (19)	700 (27)	A=B= 8 (0.3)		80 (3)	290 (639)
8S	8 (86)	540 (21)	700 (27)	A=B= 5 (0.2)		50 (2)	420 (926)
8L	8,8 (95)	540 (21)	925 (36)	A=B= 8 (0.3)		80 (3)	460 (1014)
13S	13,5 (140)	645 (25)	800 (31)	A=B= 6 (0.24)		80 (3)	680 (1500)
30L	29,3 (315)	825 (32)	1400 (55)	A=12 (0.5)/B=10 (0.4)		100 (4)	1380 (3042)

## Démarche conseillée

- Etablir les critères de la PAC (Contraintes et performance)
- **Choisir le modèle de PAC pour une efficacité maximum**
- Etes-vous d'accord avec l'entreprise de chauffage ? Si oui de combien faudra-t-il augmenter la surface d'échange en % ?
- Déterminer le débit minimum coté froid (Entre échangeur et PAC)
- **Dimensionner l'échangeur spiralé.** Le débit prélevé dans l'égout devra permettre de :
  - Respecter la différence de température du circuit de sortie
  - Couvrir 100% des besoins énergétiques avec la marge de sécurité donnée.

[http://www.ciat.fr/rubrique/index/fra-nos-produits-gammes-de-produits/33/prod\\_cat-Pompes-a-chaaleur/13](http://www.ciat.fr/rubrique/index/fra-nos-produits-gammes-de-produits/33/prod_cat-Pompes-a-chaaleur/13)

<https://prevision-meteo.ch/climat/journalier/paris-montsouris/2020-01>



## Correction

(Les livrables 2 et 3 feront l'objet d'une évaluation commune)

### - Etablir les critères de la PAC (Contraintes et performance)

#### Puissance de la PAC

D'après le site [prevision-meteo.ch](http://prevision-meteo.ch), Les températures minimales enregistrées à Paris en janvier sont de -1°C soit un écart max de 20°C pour une température intérieure de 19°C

A Paris DJU = 1900

- E=300 MWh par an donc la puissance moyenne nécessaire (si l'écart de température était constant tout au long de l'année) est :

$$P_{moyen} = \frac{300 \cdot 10^3}{24 \cdot 365}$$

$$P_{moyen} = 34 \text{ Kw}$$

Cette puissance est adaptée au deltaT moyen mais on souhaite dimensionner la PAC pour le deltaT max. La puissance max est proportionnelle au deltaT :

Soit Pmax la puissance maxi pour couvrir 100% des besoins en chauffage pour un deltaTmax (Pour une température extérieure minimum) :

$$P_{max} = P_{moyen} \cdot \Delta T_{max} / \Delta T_{moyen} \quad \text{Avec : } \Delta T_{moyen} = \frac{DJU}{365}$$

$$(1) \Delta T_{moyen} = \frac{1900}{365} = 5,2^\circ\text{C} ; \Delta T_{max} = 20^\circ\text{C}$$

On utilise une règle de 3 : Donc  $P_{max} = 34 \cdot 20 / 5.2$   **$P_{max} = 131 \text{ kW}$**

On ne veut couvrir que 75 % de Pmax donc  $P_{pac} = P_{max} \cdot 0,75$  ;

$$P_{pac} = 99 \text{ KW}$$

#### Autres contraintes

- PAC eau/eau (On prélève les calories dans un circuit d'eau **et** on restitue les calories dans un circuit d'eau)
- PAC à puissance variable
- Contraintes à déterminer : Température de sortie d'eau mini nécessaire

La PAC n'assure pas seule les besoins de chauffage ; elle couvre 75% de l'énergie nécessaire, mais si l'entreprise de chauffage a raison, la température de sortie d'eau doit être la plus élevée possible.

- **Choisir le modèle de PAC pour une efficacité maximum**

Le modèle qui respecte les contraintes et qui convient le mieux pour la température d'eau est :

### **DYNACIAT LG 300 (HW3)**

**Puissance nominale** : 103 KW pour un COP de 3,54 à la capacité nominale, une température coté chaud de 47/55°C et une température coté froid de 10/7°C

- **Etes-vous d'accord avec l'entreprise de chauffage ? Si oui de combien faudra-t-il augmenter la surface d'échange en % ?**

-La température maxi de sortie d'eau de la PAC est de 55°C. pour un retour d'eau à 47°C. En théorie, la chaudière devra « se caler » sur ces températures.

-L'échange thermique des radiateurs est proportionnel à l'écart de température entre la température moyenne du radiateur qui vaut  $T_{moyR} = \frac{T_{départ} + T_{retour}}{2}$  et la température de l'air (19°C)

- Pour une aire  $A_0$  des radiateurs actuels, la puissance  $P_0$  transmise avec la chaudière seule vaut :  

$$P_0 = A_0 \cdot U \cdot \Delta T_0 \text{ avec } U \text{ coef. d'échange surfacique et}$$

$$\Delta T_0 = T_{moyR0} - T_{air} = \frac{60+50}{2} - 19 = 36^\circ C$$
- La puissance transmise avec les radiateurs actuels et la chaudière + PAC serait :  $P_1 = A_0 \cdot U \cdot \Delta T_1$  avec  

$$\Delta T_1 = T_{moyR1} - T_{air} = \frac{55+47}{2} - 19 = 32^\circ C$$
- donc  $\frac{P_1}{P_0} = \frac{32}{36} = 0,89$

Si on n'augmente pas le nombre de radiateurs, la puissance ne peut pas augmenter

Il faut augmenter A de la quantité inverse donc de  $\frac{A_1}{A_0} = \frac{36}{32} = 1,125$

**Pour que la PAC fonctionne en permanence, il faut augmenter de 12,5 % la surface d'échange.**

- **Déterminer le débit minimum coté froid (Entre échangeur et PAC)**

La puissance  $P_c$  de 103 kW est la puissance que la PAC est capable de transmettre à la source chaude. La puissance  $P_f$  qu'elle a besoin de prélever à la source froide doit se déterminer à partir du COP et du premier principe de la thermodynamique soit :

$$\text{Si } \text{COP} = Q_c / W \text{ et } Q_c = W + Q_f \text{ alors } Q_f = Q_c \left(1 - \frac{1}{\text{COP}}\right) \text{ et } P_f = P_c \left(1 - \frac{1}{\text{COP}}\right)$$

$$\text{Donc } P_f = 74 \text{ kW}$$

Calcul du débit massique  $\dot{m}_f$  entrée PAC :

$$P_f = \dot{m}_f \cdot C \cdot \Delta T \text{ d'où } \dot{m}_f = \frac{P_f}{C \cdot \Delta T}; \text{ C : chaleur spécifique de l'eau}$$

Débit massique  $\dot{m}_f$  d'eau en kg/s à calculer;

$$P_f = 74\,000 \text{ W}; \text{ C} = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \Delta T = 3^\circ\text{C} \text{ (Donné dans la doc de CIAT)}$$

$$\text{- D'où } \dot{m}_f = \frac{74\,000}{4185.3} = 5,8 \text{ kg/s};$$

Masse volumique de l'eau :  $\rho_e = 1 \text{ Kg} \cdot \text{l}^{-1}$ ;  $\dot{m}_f = \rho_e \cdot D_v$  avec  $D_v$  débit volumique

$$\dot{m}_f = 5,8 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{ } D_v = 5,8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

- **Dimensionner l'échangeur spiralé.**

On peut se baser sur la puissance  $P_f$  pour calculer la surface d'échange de l'échangeur

Le constructeur nous indique que le coefficient global d'échange est  $U = 1300 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

Un résultat du Prosit 3 nous donne la relation suivante en régime établi équilibré :

$$S = \frac{P_f}{U \cdot \Delta T} \text{ avec S : Surface d'échange}$$

On choisit un échangeur de sorte que l'on dispose d'un coefficient de sécurité de 1,2

$$\Delta T = 3^\circ\text{C}; S = \frac{74\,000 \cdot 1,2}{1300 \cdot 3}; \text{ Après calcul on trouve } S_{\text{mini}} = 22,76 \text{ m}^2$$

On devra choisir le modèle le plus gros : 30L

Le débit chaud nécessaire côté eaux usées est voisin du débit froid.

On peut également vérifier que les **vitesse dans l'échangeur sont dans la fourchette indiquée** (En prenant la section des passages froid et chaud :  $S_f = A \cdot H \cdot 0,6$ ;  $S_c = B \cdot H \cdot 0,6$ )

Le débit d'eau usée est largement inférieur au débit minimum de l'égoût qui est de 74,87 l/s. Il sera donc régulier dans l'échangeur.

## Livrable 3 – Dimensionnement des réseaux

### Choix et dimensionnement des circuits chaud et froid de la PAC et du circuit des eaux usées.

- Le circuit chaud relie l'échangeur eaux usées à la PAC. Il devra comporter 7 coudes normaux en U, 8 m de tuyauterie, 2 vannes à opercule à passage direct et une pompe. Le débit d'entrée est fixé à 6 l/s.
- Le circuit froid relie la PAC au ballon tampon Il devra comporter 6 coudes normaux en U, 4 m de tuyauterie et deux vannes à opercule à passage direct. **La pompe de ce circuit est intégrée à la PAC elle n'est pas à traiter. Ce circuit n'est donc pas à traiter.**
- Le circuit eaux usées sera dimensionné en fonction de l'échangeur et le broyeur. Les pertes de charge dans l'échangeur sont estimées à 50 000 Pa.
- Le choix du broyeur doit être justifier dans la gamme du fabricant.
- Les diamètres des tuyauteries seront exposés et adaptés aux constituants du circuit.

### Correction possible pour le dimensionnement du circuit des eaux usées

Afin de préparer le dimensionnement, il faut quantifier les pertes de charge pour la zone d'aspiration et de refoulement (Cf figure 1). On a posé comme hypothèse que les matériaux sont lisses (type PVC) et que les composants du réseau sont répartis avec 3 coudes, 1 vanne et 4 m de tuyau en aspiration et le reste en refoulement. Les diamètres des sections variants entre les organes, des convergents et divergents ont été placés. De plus, il faut aussi quantifier les pertes de charge dans l'échangeur spiralé. En consultant la bibliographie, la méthode de calcul est assez laborieuse. Les étudiants pourront se contenter d'une approximation fournie dans une ressource et rappelée dans le workshop du prosit 7.

Quantifier les pertes de charges			
	Nombre	coefficient de perte de charge	
coudes asp	3		0,25
Convergent 65/100	1		0,3
vannes de passage asp	1		0,1
coudes Ref	4		0,25
Divergent 65/100	1		0,3
vannes de passage Ref	1		0,1
tuyauterie Asp (conduite PVC)	4 m		1,71E-02
tuyauterie Ref (conduite PVC)	4 m		1,71E-02
Calcul des pertes de charge par section et type			
perte de charge régulière Asp		1716,86	Pa
perte de charge singulière Asp		1879,90	Pa
perte de charge régulière Ref		51716,86	Pa
perte de charge singulière Ref		2288,58	Pa
PdC Echangeur			
Données d'entrée PdC		50000	Pa
			Donnée échangeur

*Figure 1 Estimation des pertes de charge pour un DN 65*

Les valeurs de perte de charge figurant sur [Fig1] dépendent du diamètre des sections possibles. En regardant la gamme du fournisseur PEDROLLO, on peut voir que le diamètre DN est 65 mm. Les valeurs dans cette correction sont proposées pour ce diamètre nominal. Le broyeur, l'échangeur étant en DN100, un convergent et un divergent a été placés, ce qui ajoute des pertes de charges singulières. Le nombre de Reynolds est de 150 000, le régime est donc turbulent.

La hauteur manométrique est estimée à 5.87 m. Le NPSH est quant à lui quantifié à 9.59 m pour une pression de vapeur saturante 23.4 mbar (pour une température de 20°C)

Au débit imposé de 27 m<sup>3</sup>/h, la référence HF4 est la seule option dans la gamme du fournisseur. Le NPSH requis est de 7 m. Le risque de cavitation est écarté.

Pour obtenir le point de fonctionnement, on quantifie la différence entre la Hmt (7 m) de la courbe hydraulique de la référence à ce débit et la Hmt actuelle. On doit donc créer 1.13 m de perte de charge sur le réseau afin d'adapter la courbe réseau à la courbe de pompe.

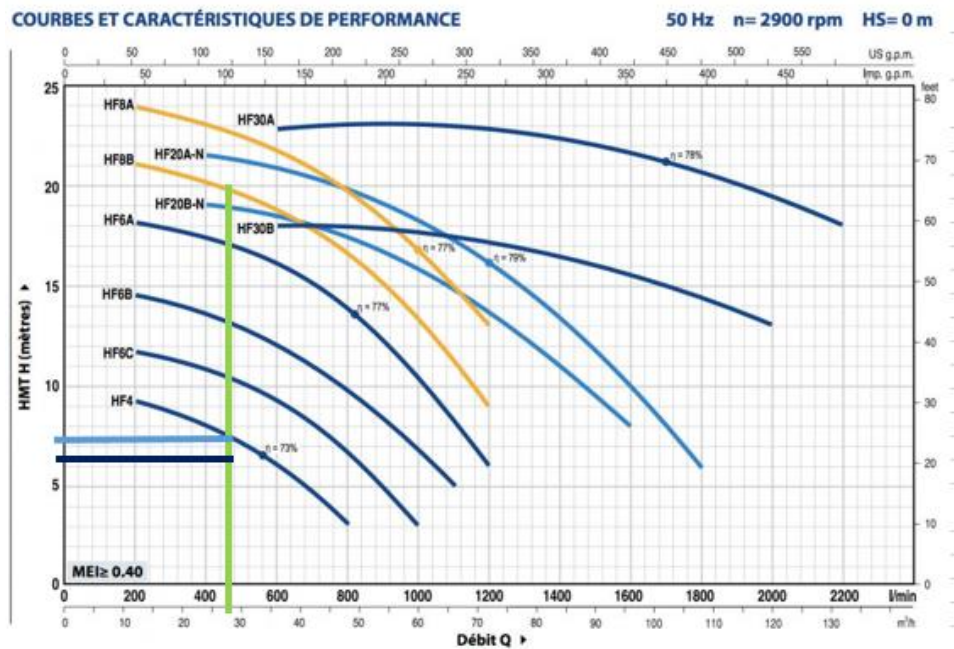


Figure 2 Choix de la pompe dans la gamme

Il est indispensable d'adapter le réseau. Un appareil sous dimensionné entrainera un problème d'irrigation. Un appareil surdimensionné risque une surcharge du moteur, de la cavitation, des bruits, des débits/vitesse trop élevés.

En introduisant une hauteur de 1.13 m entre l'aspiration et le refoulement, on obtient le point de fonctionnement.

Cette hauteur à introduire nécessite de mettre l'échangeur spiralé en hauteur au- dessus de la pompe. La pompe est au même niveau que le collecteur

Pour le choix du broyeur, les caractéristiques du produit HPL 300 sont conformes avec un DN de 100 mm, les pressions et débit correspondent au projet (Cf fichier Excel)

## Préparation pour l'oral

Voir le document : *Organisation soutenance* sur Moodle