

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

**ECOLE NATIONALE
POLYTECHNIQUE**

**Département Génie
Mécanique**



**Mémoire de Fin d'Etudes pour
l'obtention du Diplôme d'Ingénieur
d'Etat en Génie Mécanique**

Thème

**MISE EN MARCHÉ DU BANC D'ESSAI DE
CHAUFFAGE CENTRAL**

Dirigé par :

Pr. SMAÏLI Arezki

Mr. BENBRAÏKA Mohamed

présenté par :

ZAIR ACHOUR

PROMOTION 2013

الموضوع: عملية تشغيل وحدة تدفئة مركزية.

يتضمن هذا المشروع عملية تشغيل وحدة تدفئة مركزية ذي طابع تربوي قمنا بإجراء دراسة نظرية على امتيازات سطوح التبادل الحراري والمدفئة ودراسة تطبيقية بحسب عطاتهم ومعامل التبادل الحراري الكلي للسطوح ومردود المدفئة. في النهاية اقترحنا عمل تطبيقي ملخصا لدراستنا. الكلمات المفتاحية: التدفئة المركزية, المدفئة, نقل الحرارة

Résumé

Sujet : ce projet consiste en la mise en route d'une unité de chauffage central à caractère pédagogiques.

Nous avons réalisé sa mise en route, fait une étude théorique sur les caractéristiques des éléments de chauffe et de la chaudière.

Une étude pratique en mesurant leurs puissances, le coefficient global de transfert de chaleur des éléments de chauffe ainsi que le rendement de la chaudière.

On a proposé à la fin un T.P résumant notre travail.

Les mots clés: chauffage central, Chaudière, transfert de chaleur.

Abstract

Subject : This project consists in pedagogic central heating starting.

We have done theoretical study about the characteristics of the heat exchange surfaces and the boiler, than practical study on mesuring their powers, the heat transfer global coefficient and the boiler produce.

At last we suggested P.W resuming our study.

Key-words: central heating, boiler, heat transfer.

REMERCIEMENTS

*J*e remercie tout d'abord Allah le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la patience afin de mener à bien mon projet de fin d'étude.

*M*es sincères remerciements et ma profonde gratitude à mes encadreurs M. SMAILI Arezki et M. BENBRIKA Mohamed, pour m'avoir dirigé, orienté, soutenu et dont les compétences intellectuelles, l'expérience, la modestie, la patience et la disponibilité ont grandement contribué à l'aboutissement de ce mémoire.

Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

Je voudrais particulièrement remercier les membres du jury dont Mr RECHAK Saïd pour avoir accepté la présidence du jury ainsi que l'examineur Mr BOUBAKER pour m'avoir honoré d'être membre de mon jury de soutenance.

Je souhaiterais également remercier tous mes enseignants du département de mécanique de l'ENP, pour avoir participé à ma formation.

*F*inalement, mes remerciements vont à tous ceux qui ont contribué d'une quelconque manière à l'aboutissement de ce travail.



A mes parents qui me sont les plus chers au monde, que Dieu les protège, et que ce travail fasse qu'ils soient fiers de moi.

A mes frères et sœurs que j'aime très fort, et à qui je souhaite tout le bonheur et la réussite du monde,

A ma femme que j'aime.

A tous mes amis chacun par son nom (idir, sohib, takfa, widou, soraya, mira, amine, mizou, saadou,)

A tous les étudiants de 5^{ème} année du département de G. mécanique,

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment, où qu'ils soient,

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.



*A*chour

NOMENCLATURE

A : surface de l'élément de chauffe	[m ²]
B _v : débit volumétrique de combustible	[m ³ /h]
B _m : débit massique du combustible	[Kg/h]
C _p : capacité calorifique du fluide chauffant	[Kj/Kg.K]
\dot{m} : débit massique du fluide	[Kg/h]
Q, Q _i : puissance calorifique	[w]
Q _p : pertes calorifiques	[w]
T _{1e} : température du fluide chauffant à l'entrée de l'échangeur de chaleur	[k]
T _{1s} : température du fluide chauffant à la sortie de l'échangeur de chaleur	[k]
T _{2e} : température du fluide chauffé à l'entrée de l'échangeur de chaleur	[k]
T _{2s} : température du fluide chauffé à la sortie de l'échangeur de chaleur	[k]
T _{ech} : température du fluide chauffant à l'entrée de la chaudière	[k]
T _{sch} : température du fluide chauffant à la sortie de la chaudière	[k]
T _i : température ambiante	[k]
T ₀ : température de la paroi de l'échangeur de chaleur	[k]
T _m : température moyenne du fluide	[k]
U : coefficient global de transfert de chaleur	[w/m ² . °c]
ΔH _i : pouvoir calorifique inférieur du combustible	[Kcal/Kg]
ΔT : écart de température entre l'entrée et la sortie du l'échangeur de chaleur	[k]

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Coefficients de transfert de chaleur pour corps de chauffe.....7 tubulaire (kcal/m ² .h.°C)	7
Tableau 1.2 Les différents systèmes de chauffage individuel	12
Tableau 2.1 : Domaines d'utilisation des radiateurs standards	35
Tableau 4.4 : Les résultats sur le radiateur en fonte	54
Tableau 4.5 : Les résultats sur le radiateur en acier	54
Tableau 4.6 : Les résultats sur le radiateur plat	55
Tableau 4.7 : Les résultats sur le convecteur	55

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Distribution des températures dans un échangeur de chaleur4 à courant parallèle	4
Figure 1.2 : Distribution des températures dans un échangeur de4 chaleur à Contre-courant	4
Figure 1.3 : Régulation pour le chauffage individuel11	11
Figure 2.1 Chaudière BIDERUS14	14
Figure 2.2 Bruleur15	15
Figure 2.3 Instruments de mesures17	17
Figure 2.4 Instruments de mesure placée sur la chaudière18	18
Figure 2.5 : L'accélérateur19	19
Figure 2.6 : Le schéma de fonctionnement d'une vanne de mélange à21 quatre (4) voies	21
Figure 2.7 : Vanne à quatre voies21	21
Figure 2.8 : Vanne à droite de la chaudière22	22
Figure 2.9 : Vanne à gauche de la chaudière23	23
Figure 2.10 : Le schéma de fonctionnement de la vanne à 3 voies24	24
Figure 2.11 : Vanne à 3 voies24	24
Figure 2.12 : Vanne à droite de la chaudière25	25
Figure 2.13 : Vanne à gauche de la chaudière25	25
Figure 2.14 : Régulateur à contre-courant26	26
Figure 2.15 : Vase d'expansion fermé ave membrane et coussin de gaz27	27
Figure 2.16 : Vase d'expansion sous pression28	28
Figure 2.17 : Le vase d'expansion avec ses tuyauteries de service29	29
Figure 2.18 : Vase d'expansion ouvert29	29
Figure 2.19 : Purgeurs30	30
Figure 2.20 : Tête de robinet thermostatique simple31	31
Figure 2.21 : Panneau de régulation32	32
Figure 2.22 : Les corps de chauffe à éléments33	33
Figure 2.23 : Les coupes des radiateurs34	34
Figure 2.24 : Détermination de la puissance spécifique des radiateurs de 500 à 600 mm d'entraxe des connexions lorsqu'ils sont placées sous habillage36	36

LISTE DES FIGURES

Figure 2.25 : Dimensions des radiateurs et côtes d'écartement entre radiateur et paroi	37
Figure 2.26 : montage du banc d'essai de chauffage central	39
Figure 3.1 : Manomètre pour installations fermées	41
Figure 3.2 : Vérification du circuit électrique du l'imitateur thermique de sécurité	45
Figure 3.3 : organigramme pour la maintenance du bruleur	49
Figure 3.4 : Thermocouples	51
Figure 4.1 : courbes caractéristiques des radiateurs fonte et acier $Q=f(T_m)$	56
Figure 4.2 : courbes caractéristiques des radiateurs fonte et acier $Q_i=f(T_m)$	56
Figure 4.3 : Courbes U.A des radiateurs fonte et acier $U.A=f(T_m)$	57
Figure 4.4 : courbes caractéristiques du radiateur plat et convecteur $Q=f(T_m)$	57
Figure 4.5 : Courbes U.A du radiateur plat et convecteur $U.A=f(T_m)$	58

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	i
Remerciements	ii
Dédicaces	iii
Nomenclature	iv
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
Table des matières	viii

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Généralités

1.1 L'échange de chaleur dans un corps de chauffe	3
1.2 La détermination des caractéristiques des corps de chauffe	6
1.2.1 Mesure de la puissance des corps de chauffe.....	6
1.2.2 Le calcul du coefficient global de transfert de chaleur des corps de chauffe	8
1.3 La chaudière.....	9
1.3.1 Mesure de la puissance de la chaudière	9
1.3.1.1 Méthode directe	9
1.3.1.2 Méthode indirecte	9
1.3.2 Rendement de la chaudière	10
1.4 Revue sur les systèmes de chauffage.....	11
1.4.1 Classification des systèmes de chauffage	11
1.4.1.1 Chauffage individuel	11
1.4.1.2 Chauffage à distance.....	12
1.4.1.3 Le chauffage central	13
1.4.1.3.1 Les avantages.....	13
1.4.1.3.2 Les inconvénients	13

Montage expérimental

2.1 Description générale	14
2.1.1 Le réseau de tuyauterie	14
2.1.2 La chaudière	14
2.1.3 Le bruleur.....	15
2.1.4 Les instruments de mesure	15
2.1.5 Les pompes (accélérateurs).....	16

TABLE DES MATIÈRES

2.1.6 Les vannes de mélange	19
2.1.6.1 La vanne de mélange à quatre voies	19
2.1.6.2 La vanne de mélange à trois voies	23
2.1.7 Le régulateur à contre-courant	26
2.1.8 Les dispositifs de sécurité	26
2.1.8.1 Le vase sous pression	27
2.1.8.2 Le vase d'expansion ouvert	28
2.1.8.3 Une soupape de sécurité	30
2.1.8.4 Deux purgeurs.....	30
2.1.9 Les instruments de régulation	31
2.1.10 Les éléments de chauffe.....	33
2.1.10.1 Les radiateurs normalisés	34
2.1.10.2 L'utilisation des éléments de chauffe	34
2.1.10.3 La peinture des éléments de chauffe.....	35
2.1.10.4 Le revêtement des éléments de chauffe.....	35
2.1.10.5 L'emplacement des éléments de chauffe.....	37
2.1.10.6 La puissance nominale des éléments de chauffe sur le banc d'essai	37

Mise en marche et modernisation de l'installation

3.1 Fonctionnement de l'installation	40
3.1.1 Le remplissage de l'installation	40
3.1.2 La mise en route du bruleur	42
3.2 La maintenance du banc	43
3.2.1 Le grippage des pompes.....	43
3.2.2 Le blocage du l'imitateur thermique de sécurité.....	43
3.2.3 Les pannes du bruleur	46
3.2.4 Le nettoyage des rotamètres.....	50
3.2.5 Le détartrage des surfaces de chauffe	50
3.3 mesure de température –système d'acquisition de données	51
3.3.1 L'installation de « NI- DAQ MAX ».....	51
3.3.2 La configuration de la carte « TBX-68T ».....	52
3.3.3 L'installation de « VI –LOGGER ».....	52

TABLE DES MATIÈRES

3.3.4 L'activation de « VI-LOGGER »	52
3.3.5 L'utilisation de « VI-LOGGER »	53

Essais et mesures

4.1 Les essais sur le banc	54
4.1.1 Mesure de la puissance et du coefficient global de transfert de chaleur des corps de chauffe.....	54
4.1.1.1 Essais sur le radiateur en fonte norme DIN 4720	55
4.1.1.2 Essais sur le radiateur en acier DIN 4722.....	55
4.1.1.3 Essais sur le radiateur plat	55
4.1.1.4 Essais sur le convecteur	55
4.1.1.5 Conclusion	61
4.1.2 Mesure des caractéristiques de la chaudière	62
4.1.2.1 Mesure de la puissance de la chaudière	62
4.1.2.2 le calcul du rendement de la chaudière.....	62
4.1.2.3 Conclusion	64

Conclusion générale

Bibliographie

Appendice

Introduction Générale

Introduction générale

Le chauffage central offre une série d'avantages, la production de la chaleur avec un seul feu permet d'améliorer la conception technique du foyer dans lequel il est produit, la conduite du feu et les réglages sont simplifiés.

Notre étude s'effectue sur le banc d'essai de chauffage central « MATLABO », ce banc d'essai a été conçu avec des éléments utilisées couramment dans les installations de chauffage central, et peut être utilisé pour mesurer les phénomènes de transfert thermique qui interviennent dans les installations de chauffage central.

L'objectif de cette étude est la mise en marche du banc d'essai, la réparation des éléments défectueux et la vérification du bon fonctionnement de ses éléments.

Après la mise en marche de l'installation, on détermine les caractéristiques des différents éléments de chauffe les vannes de mélange et la chaudière.

Et finalement, la rédaction d'un manuel de travaux pratiques illustrant certaines expériences à faire sur le banc.

Dans le premier chapitre une étude théorique est faite sur les échanges de chaleur dans un élément de chauffe en citant toutes les équations utilisées pendant les calculs, La deuxième partie du chapitre permet de décrire le montage expérimental en citant les différents composants constituant l'installation et leurs caractéristiques.

Le deuxième chapitre traite la description générale de notre installation

Le troisième chapitre est divisé en trois parties, la première partie est consacrée à décrire le fonctionnement de l'installation, la seconde partie consiste à citer toutes les réparations apportées à l'installation, enfin la troisième partie traitant l'intégration de la carte d'acquisition.

Dans le dernier chapitre, on a fait l'évaluation des performances de l'installation, en faisant des essais pour s'assurer du bon fonctionnement de cette dernière.

Dans la conclusion générale, on a présenté Les résultats obtenus et les perspectives

Chapitre 1

Généralités

1.1 L'échange de chaleur dans un corps de chauffe

Les températures des fluides, dans un échangeur de chaleur, ne sont pas en général constantes, mais elles varient d'un point à un autre à mesure que la chaleur s'écoule du fluide le plus chaud vers le fluide le plus froid. Même dans le cas d'une résistance thermique constante, le flux de chaleur varie tout au long du passage du fluide dans l'échangeur car sa valeur, dans une section donnée, dépend de la différence de température entre le fluide chaud et le fluide froid. Les figures (1.1) et (1.2) montrent l'évolution des températures des deux fluides dans un échangeur constitué par un tube et un corps. Les distances entre les lignes en trait plein sont proportionnelles aux différences de températures ΔT entre les deux fluides.

La figure (1.1) représente les conditions dans un échangeur à écoulement parallèle, et la figure (1.2) correspond à un échangeur à contre-courant.

Dans ces deux derniers cas il n'y a pas de changement de phase. L'examen de La figure (1.1) montre que, quelle que soit la longueur de l'échangeur, la température finale de fluide le plus froid ne peut jamais être supérieure à la température de sortie du fluide le plus chaud. Pour un échangeur à contre-courant, par contre la température finale du fluide le plus froid peut dépasser la température de sortie du fluide le plus chaud, car il existe un gradient de température favorable tout au long de la traversé de l'échangeur. Un avantage supplémentaire de la disposition à contre-courant est que pour un flux de chaleur donné on a besoin d'une surface d'échange plus petite que dans le cas d'un écoulement parallèle. Pour déterminer le flux de chaleur dans n'importe lequel des cas qui viennent d'être cités, on doit intégrer l'équation :

$$dQ = U dA \Delta T \quad (1.1)$$

Où :

U : présente le coefficient d'échange de chaleur

sur toute la surface d'échange de chaleur [1].

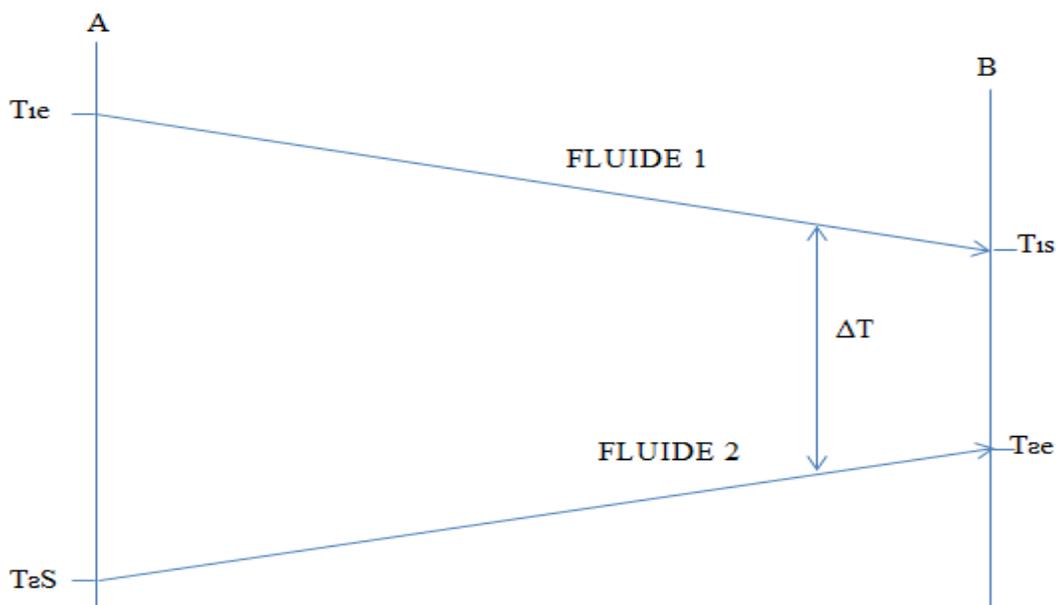


Figure 1.1 : Distribution des températures dans un échangeur de chaleur à courant parallèle [1]

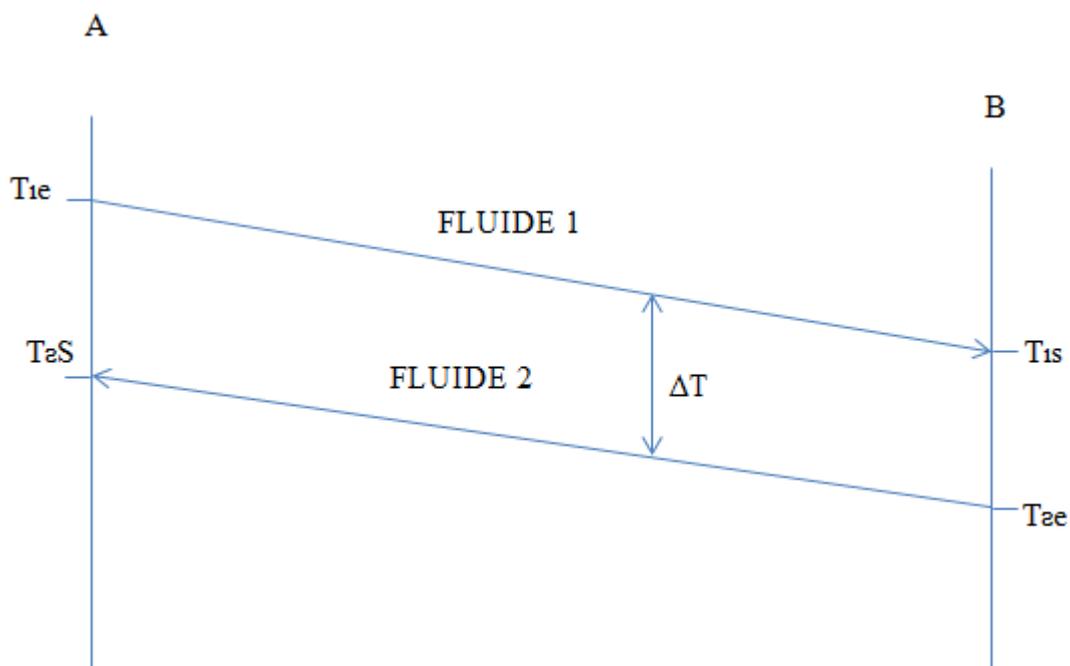


Figure 1.2 : Distribution des températures dans un échangeur de chaleur à Contre-courant [1].

GÉNÉRALITÉS

Si la conductance globale par unité de surface (coefficient de transfert global) U est constante, si on néglige les variations d'énergie cinétique, on peut intégrer facilement l'équation (1.1) pour un écoulement parallèle ou à contre-courant. Le bilan énergétique appliqué à la surface dA donne [2] :

$$Q = \dot{m} C_p (T_{1e} - T_{1s}) \quad (1.2)$$

Où :

\dot{m} : désigne le débit de masse du fluide chauffant

T_{1e} : température du fluide chauffant à l'entrée de l'élément de chauffe

T_{1s} : température du fluide chauffant à l'entrée de l'élément de chauffe

C_p : chaleur spécifique du fluide chauffant

Le flux échangé entre les deux fluides peut s'écrire en fonction du coefficient de transfert globale comme suit [2] :

$$Q = U A \Delta T_{lm} \quad (1.3)$$

Où :

ΔT_{lm} : l'écart logarithmique moyen des températures d'entrée et de sortie donné par la relation :

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{1e} - T_{2s}) - (T_{1s} - T_{2e})}{\ln \frac{(T_{1e} - T_{2s})}{(T_{1s} - T_{2e})}} \quad (1.4)$$

Sur les radiateurs, il est difficile de mesurer les températures de l'air entrée-sortie du moment qu'on a une variation dans les directions horizontale et verticale de la température des couches d'air [3].

De nombreuses mesures ont été faites sur des radiateurs allemands normalisées pour le calcul de leur puissance ou l'écart logarithmique moyen est exprimé par la relation suivante [2] :

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{1e}-T_i)-(T_{1s}-T_i)}{\ln\left(\frac{T_{1e}-T_i}{T_{1s}-T_i}\right)} \quad (1.5)$$

Où :

T_i : température ambiante

T_{2e} : température du fluide chauffé à l'entrée de l'élément de chauffe

T_{2s} : température du fluide chauffé à la sortie de l'élément de chauffe

Dans le cas où le rapport $\frac{(T_{1s}-T_i)}{(T_{1e}-T_i)}$ est supérieur à 0.7 l'écart logarithmique moyen des températures peut être assimilé au moyen arithmétique des températures d'entrée et de sortie [2] :

$$\Delta T_{lm} = \Delta T_{ma} = \frac{T_{1e} + T_{1s}}{2} - T_i \quad (1.6)$$

1.2 La détermination des caractéristiques des corps de chauffe

1.2.1 Mesure de la puissance des corps de chauffe

Pour les corps de chauffe tubulaires comportant des tubes lisses horizontaux on peut, suivant DIN 4703, admettre pour le coefficient de transfert de chaleur les valeurs de

Tableau (5.3) [3].

GÉNÉRALITÉS

Tableau 1.1 : Coefficients de transfert de chaleur pour corps de chauffe tubulaire (kcal/m².h.°C)[3]

Diamètre extérieure du tube	Un seul tube		Plusieurs tubes	
	Eau chaude T=80°C	Vapeur basse pression T=100°C	Eau chaude T=80°C	Vapeur basse pression T=100°C
33,5	11,8	12,8	10,5	11,4
48,25	11,3	12,3	9,5	10,3
60	11,0	12,0	8,8	9,6

Ces valeurs concordent bien avec celles trouvées pour les panneaux plats en acier. Pour les calculs, il est plus facile, dans la pratique, de considérer la puissance thermique par unité de longueur.

Il est de même pour les radiateurs dits à haute pression et autres corps de chauffe de construction spéciale.

Il convient à ce sujet , de tenir compte du fait que , lorsque la proportion de surface d'ailettes croit, le transfert de chaleur, côtés fluide chauffant , augmente d'importance et que ,en conséquence , il ne suffit plus ,pour caractériser la puissance spécifique , de connaître la surface de chauffe et la différence de température ($T_m - T_i$)[3].

Outre les données de puissance pour les différences de température ($T_m - T_i$) maximales servant à la détermination des surfaces de chauffe ,les données correspondant à des différences de température inférieures aux valeurs maximales sont également intéressantes à connaître dans la pratique .Elles sont par exemple ,dans les chauffages à eau

chaude à allure réduite, une influence sur les températures d'entrée de l'eau à admettre dans le corps de chauffe [3].

La relation entre la puissance du corps de chauffe et la différence de température $(T_m - T_i)$, on parle de la courbe caractéristique du radiateur, se traduit par la relation [3] :

$$\begin{aligned} Q_i &= Q_n \left[\frac{\Delta T}{\Delta T_n} \right]^m \\ &= Q_n \left[\frac{(T_m - T_i)}{(T_m - T_i)_n} \right]^m \end{aligned} \quad (1.7)$$

Où :

Q_n : puissance calorifique définie par les normes.

ΔT_n : écart de température correspondant aux conditions définies par les normes.

T_m : température moyenne du fluide

D'après les essais effectués ; l'exposant « m » pour des valeurs moyennes de d'eau chaude comprises entre 40 °c et 100 °c a les valeurs suivantes [3] :

Radiateurs (corps de chauffe à éléments) et corps de chauffe plats $m=4/3$

Corps de chauffe tubulaires de tous genres (y compris tuyaux à ailettes) $m=1,25$

Convecteurs suivant construction et habillage $m=1,25$ à $1,45$

1.2.2 Le calcul du coefficient global de transfert de chaleur des corps de chauffe

Le coefficient global de transfert de chaleur U se déduit en faisant l'égalité entre les équations (2) et (3), on a :

$$U = \frac{m \times C_p}{A} \frac{T_{1e} - T_{1s}}{\Delta T_{lm}} \quad (1.8)$$

1.3 La chaudière

La puissance d'une chaudière varie énormément en fonction des conditions d'utilisation. Les chaudières sont généralement désignées par leurs puissances nominales correspondant à des conditions standards fixées par les normes. La température du fluide chauffant est selon ces normes de 70 °C à l'entrée dans la chaudière et 90 °C à sa sortie [4].

1.3.1 Mesure de la puissance de la chaudière

La puissance d'une chaudière peut être calculée de deux manières différentes qui sont les suivantes [2] :

1.3.1.1 Méthode directe

La puissance est déterminée directement à la chaudière en mesurant l'augmentation d'enthalpie du fluide qui la traverse (eau ou vapeur) [2].

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T \quad (1.9)$$

$$Q = \dot{m} C_p (T_{sch} - T_{ech}) \quad (1.10)$$

Où :

\dot{m} : désigne le débit de masse du fluide chauffant

T_{sch} : température de sortie chaudière

T_{ech} : température d'entrée chaudière

1.3.1.2 Méthode indirecte

La puissance est déterminée indirectement en mesurant la chaleur fournie à l'eau dans un échangeur de chaleur. Dans ce cas il faut déterminer avec soin toutes les pertes calorifiques des tuyauteries de liaison entre la chaudière et celles de l'échangeur lui-même [2] :

$$Q = \dot{m} C_p (T_{2s} - T_{2e}) + Q_p \quad (1.11)$$

Où:

Q_p : les pertes calorifiques

1.3.2 Rendement de la chaudière

Le rendement de la chaudière est calculé par la relation [2] :

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p}{B \Delta H_i} (T_{sch} - T_{ech}) \quad (1.12)$$

Où:

ΔH_i : est le pouvoir calorifique inférieur du combustible

1.4 Revue sur les systèmes de chauffage

1.4.1 Classification des systèmes de chauffage

Il est difficile de classer les systèmes de chauffage car les critères de classement sont multiples (classement : selon l'énergie utilisée, la disposition des éléments constitutifs ou encore selon le fluide caloporteur utilisé). Nous avons adopté ici une classification en fonction de la position respective des différents éléments de base qui constituent le système de chauffage. Ces éléments sont :

- Le générateur qui assure la production de la chaleur
- Le réseau de distribution qui assure le transport de la chaleur vers les zones d'utilisation.
- L'émetteur qui assure l'émission de la chaleur dans la zone à chauffer.

A ces trois éléments, peuvent venir s'ajouter :

- La régulation qui permet d'assurer une fourniture de chaleur selon les besoins réels.
- La sous-station qui sert de relais entre le générateur du réseau primaire et les différents émetteurs du réseau secondaire, dans le cas de réseau de chaleur urbain. Enfin, un ensemble d'éléments complète l'installation pour remplir les fonctions liées à la sécurité de l'installation [5].

Et selon ces critères on distingue trois types de chauffage qui sont :

1.4.1.1 Chauffage individuel

Le générateur et l'émetteur forment un seul élément auquel est associée une éventuelle régulation. La figure (1.3) illustre le système de régulation dans une installation a chauffage individuel [5].

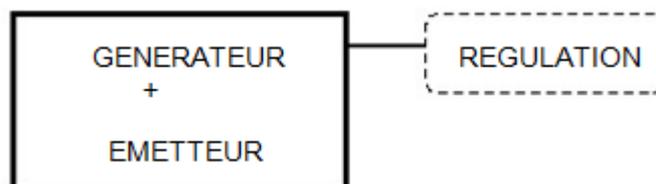


Figure 1.3 : Régulation pour le chauffage individuel [6]

Le tableau (1.2) récapitule les différents systèmes de chauffage individuel

Tableau 1.2 Les différents systèmes de chauffage individuel [5]

	L'utilisation	Les avantages	Les inconvénients
Poêles à combustible	En réhabilitation, En chauffage d'appoint	Le coût faible	Un rendement faible 65% environ
Inserts	En chauffage d'appoint pour la maison individuelle	Efficacité amélioré	Un rendement faible 40% à 50%
Chauffage électrique.	Les locaux à faibles besoins thermiques	Moins encombrant	Source d'énergie chère par rapport à la concurrence.

1.4.1.2 Chauffage à distance

Le chauffage à distance alimente à partir d'une chaufferie centrale un grand nombre de bâtiments ou de postes d'utilisation. Il peut assurer la couverture des besoins de chauffage, mais aussi de l'eau chaude sanitaire et des besoins de chaleur pour des processus de fabrication.

Il est utilisé pour les grandes usines, les zones industrielles, les hôpitaux très étendus, les zones urbaines denses.

Les fluides utilisés sont la vapeur, l'eau surchauffée, l'eau chaude.

Dans le monde de nombreux pays ont développé des réseaux de chauffage, citons:

- R.F.A. : 2 à 3 fois la puissance installée en France.
- DANEMARK : 35 % de la chaleur des locaux fournies par le chauffage urbain.
- PAYS DE L'EST : Le réseau de Moscou est 13 fois plus grand que celui de Paris [5].

1.4.1.3 Le chauffage central

Un seul foyer produit la chaleur qui sera distribué vers différents locaux par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur circulant dans un réseau de distribution. Ce fluide peut être :

- De l'eau, chauffage à eau chaude
- de la vapeur, chauffage à vapeur
- de l'air, chauffage à air chaud ou aéraulique

Le foyer est en général placé dans une chaufferie (local adjacent aux locaux à chauffer). Mais on peut le trouver en sous-sol de villas ou dans les appartements (salle de bains, cuisine, dans le cas du chauffage central individuel en immeuble collectif.)

1.4.1.3.1 Les avantages

- Réduction du nombre de foyers et cheminées
- Pollution atmosphérique moins importante
- Pas de manipulations de combustible ou de cendres dans les logements.
- Meilleure rentabilité d'utilisation du combustible
- Réduction de l'emprise au sol des éléments chauffants.
- Maintenance réduite
- Chauffage assez inerte (sauf air chaud pulsé)
- Coût de fonctionnement faible

1.4.1.3.2 Les inconvénients

- Coût d'investissement élevé par rapport à un chauffage électrique intégré.
- En collectif, problème de répartition des frais de chauffages [5].

Chapitre 2

Montage expérimental

2.1 Description générale

2.1.1 Le réseau de tuyauterie

On a sur l'installation un réseau de tuyauterie pour la circulation de l'eau de chauffage formé de :

- **Deux circuits d'alimentation** de couleur rouge sur le banc.
- **Deux circuits de retour** de couleur bleu sur le banc.

2.1.2 La chaudière

L'installation est dotée d'une chaudière BUDERUS «LOGANA » 02 type LOGANA PG 0.2 .W à gaz naturel [6].

Elle est équipée d'un double thermostat (régulateur et limiteur thermique de sécurité), le régulateur peut être réglé à la valeur désirée. Le champ de réglage du limiteur thermique prévoit un maximum de 95 °C (figure 2.1)



Figure 2.1 Chaudière BUDERUS

2.1.3 Le bruleur

La chaudière est équipée d'un bruleur **weishaupt** type wl 2 /2 modèle standard ayant une charge de $1,8$ à 8 kg.h^{-1} pour un fonctionnement idéal (figure 2.2) [7].



Figure 2.2 Bruleur

2.1.4 Les instruments de mesure

L'installation est équipé de :

- Quatre **manomètres** différentiels placés en amont et en aval de chaque pompe (figure 2.3.C).
- Deux **rota mètres** ,un ayant une plage de mesure comprise entre $200-2500 \text{ L.h}^{-1}$,et qui est placé dans le circuit de retour en amont de la vanne à quatre voies et indique la quantité d'eau totale circulant dans l'installation ,un autre ayant une plage de mesure de $100-1000 \text{ L.h}^{-1}$ qui est placé dans le circuit de retour en amont du mélangeur a trois voies et indique la quantité d'eau supplémentaire circulant en circuit fermé dans les éléments de chauffe (figure2.3.B)

- Cinq **thermomètres à cadran**, fonctionnant sous l'effet de la dilatation thermique (figure 2.3.A).

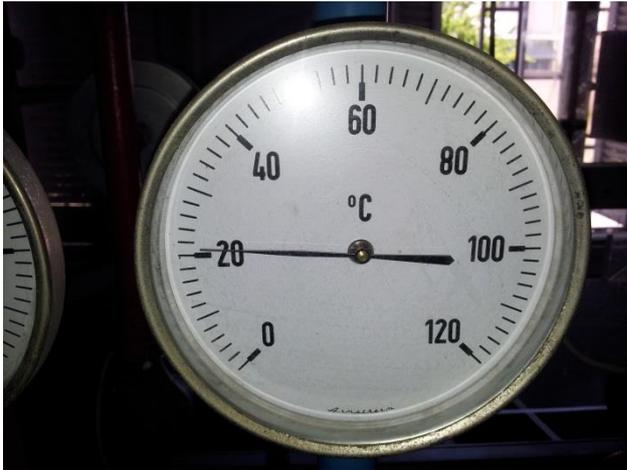
Sur la chaudière on a :

- **Un thermomètre** indique la température de l'eau à la sortie (figure 2.4.A).
- **Un manomètre à cadran** donne la pression à l'intérieur de la chaudière (figure 2.4.B)

2.1.5 Les pompes (accélérateurs)

L'installation comprend une pompe sur chacun de ses deux circuits, au-dessus de chaque vanne de mélange, elles assurent la circulation de l'eau dans l'installation et peuvent tourner à quatre vitesses de rotation (1300-1600-1800-2000) tours.min⁻¹

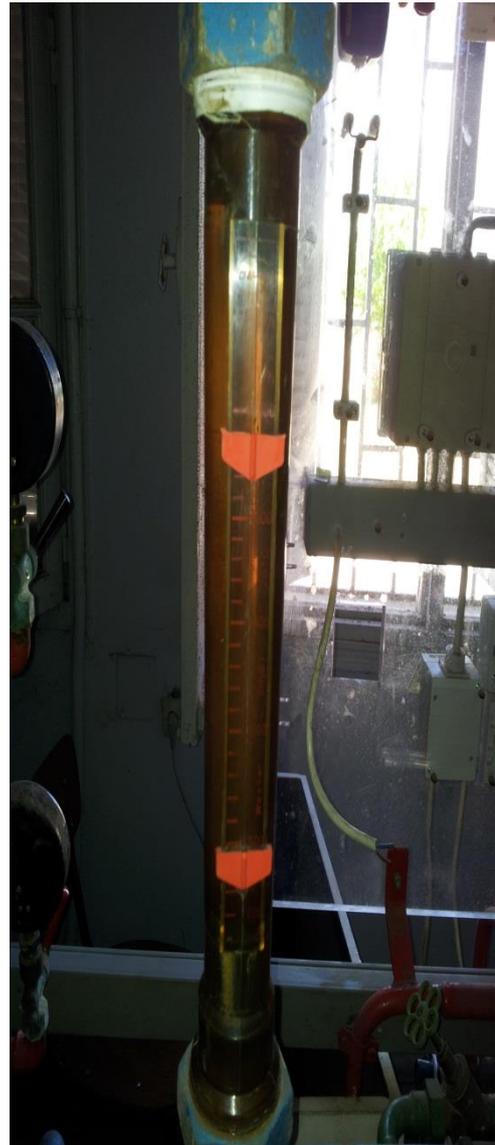
(figure 2.5).



(a)



(c)



(b)

Figure 2.3 Instruments de mesures : (a) : thermomètre (b) : rota-mètre

(c) : manomètre



(a)



(b)

Figure 2.4 Instruments de mesure placée sur la chaudière : (a) : thermomètre

(b) : manomètre a cadran



Figure 2.5 : L'accélérateur

2.1.6 Les vannes de mélange

L'installation est dotée de deux vannes de mélange.

2.1.6.1 La vanne de mélange à quatre voies

Elle a pour fonction de régler la fraction du débit traversant les éléments de chauffe qui sera recyclé dans la chaudière, on peut la manœuvrer manuellement ou à l'aide du servomoteur relié à la centrale de régulation. suivant la position d'un papillon dans le corps du mélangeur, on change la valeur du débit du mélange, faisant varier la température de l'eau de chauffage à l'entrée des éléments de chauffe.

MONTAGE EXPÉRIMENTAL

L'ensemble vanne mélangeuse/servomoteur s'utilise dans les installations de chauffage central à eau chaude où l'on désire réguler la température de l'eau circulant dans un circuit secondaire (installation proprement dite) indépendamment du circuit primaire (chaudière(s) + collecteur(s)) (figures 2.6 et 2.7).

En effet, une vanne mélangeuse motorisée est un organe indispensable pour obtenir une régulation très précise ou lorsque les générateurs ne peuvent fonctionner à basse température. De plus, du point de vue hydraulique, des installations à une ou plusieurs zones où le débit doit être constant ne peuvent se concevoir qu'avec l'aide d'une ou plusieurs vannes mélangeuses motorisées.

Le débit C est constant et est constitué d'une partie du débit A et une partie du débit B.

Lorsque la vanne est fermée, $C = B$.

Lorsque la vanne est ouverte, $C = A$.

Les débits excédentaires de A et/ou de B, constituent le débit D qui est recyclé par la chaudière pour être réchauffé [8].

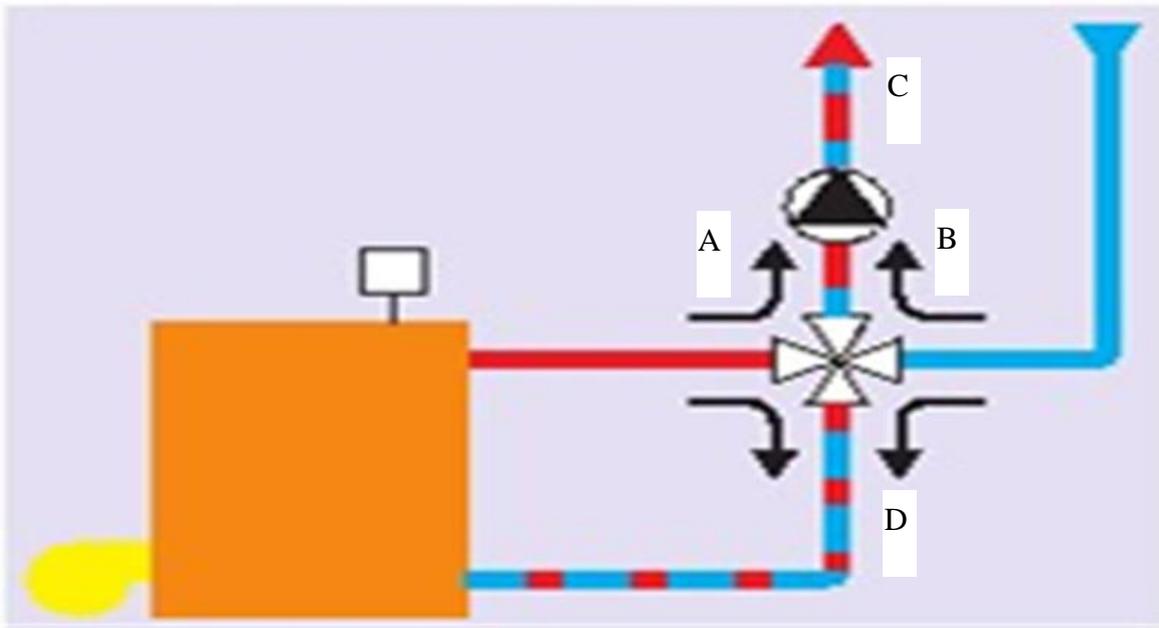


Figure 2.6 : Le schéma de fonctionnement d'une vanne de mélange à quatre (4) voies

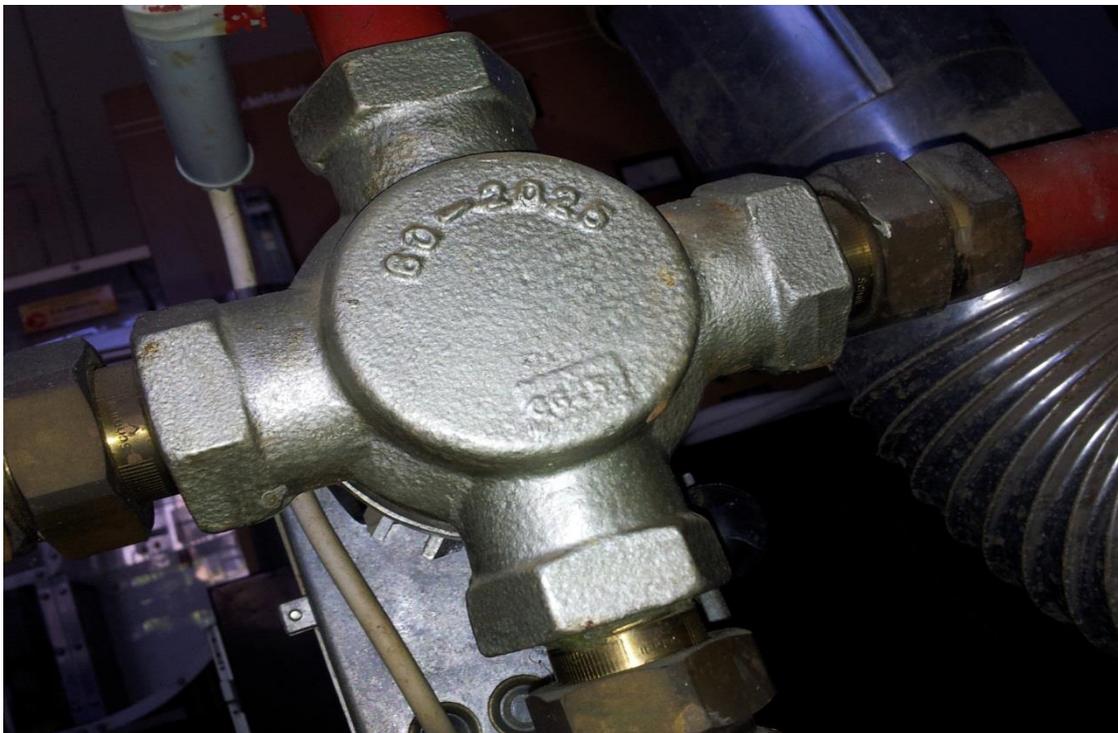


Figure 2.7 : Vanne à quatre voies

MONTAGE EXPÉRIMENTAL

Si la vanne est placée à droite de la chaudière, le moteur doit tourner dans le sens horlogique pour ouvrir la vanne, comme illustre (figure2.8).

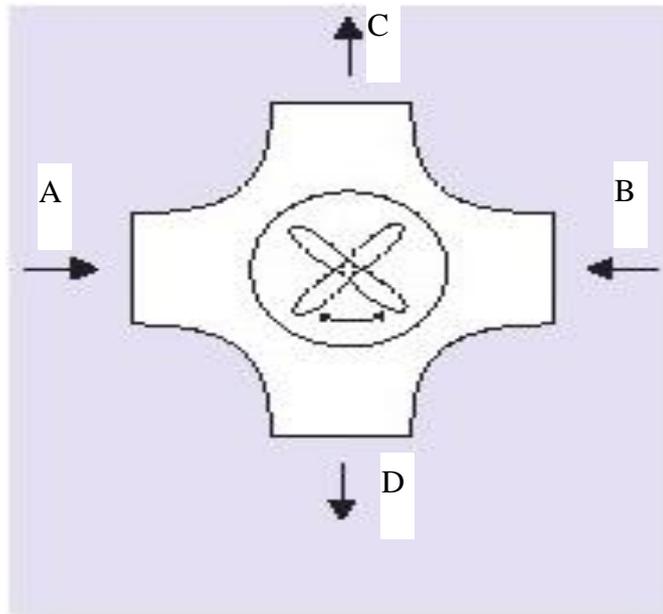


Figure 2.8 : Vanne à droite de la chaudière

Si la vanne est placée à gauche de la chaudière, le moteur doit tourner dans le sens anti-horlogique pour ouvrir la vanne. L'angle de course de la vanne est de 90°C (figure 2.9).

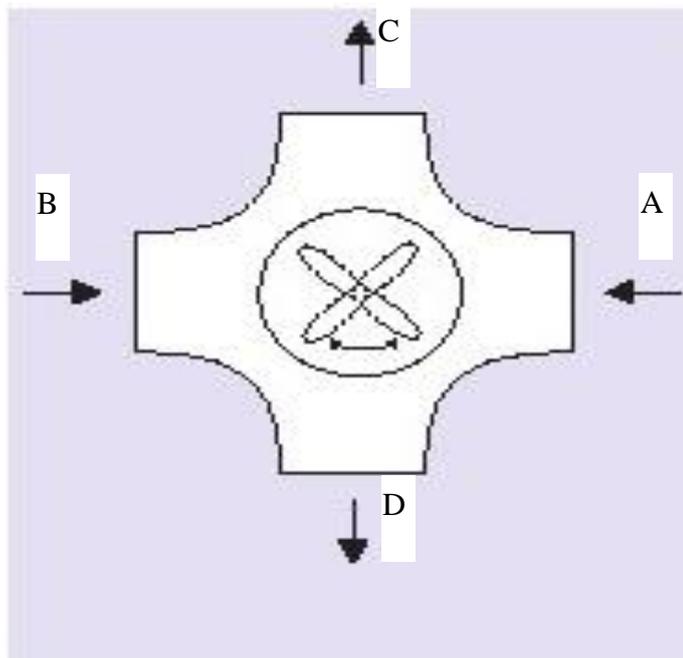


Figure 2.9 : Vanne à gauche de la chaudière

2.1.6.2 La vanne de mélange à trois voies

En pratique, elle fait office d'élément de mélange et de distribution, et permet de mesurer la fraction du débit global qui n'est pas recyclé, comme le montre

la figure 2.10 et la figure 2.11

Le débit C est constant et est constitué de la somme des débits A et B.

Lorsque la vanne est fermée, la voie A est obturée.

Lorsque la vanne est ouverte, la voie B est obturée [8].

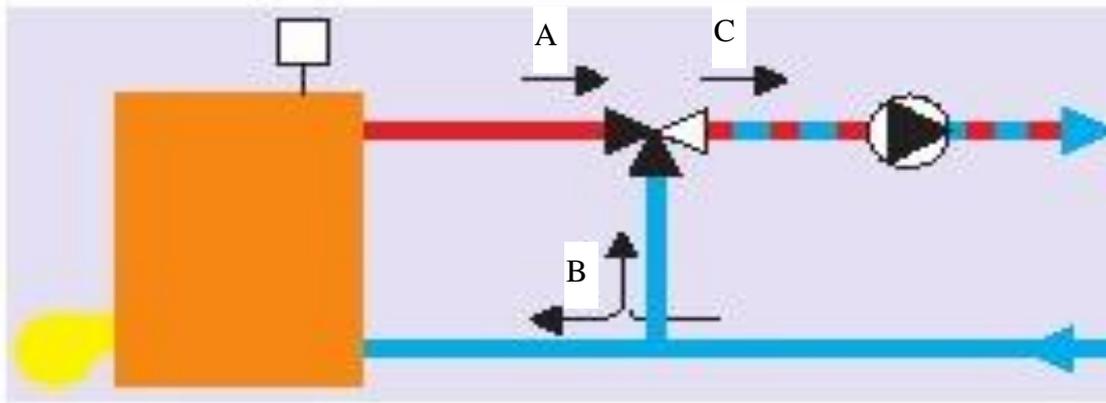


Figure 2.10 : Le schéma de fonctionnement de la vanne à 3 voies

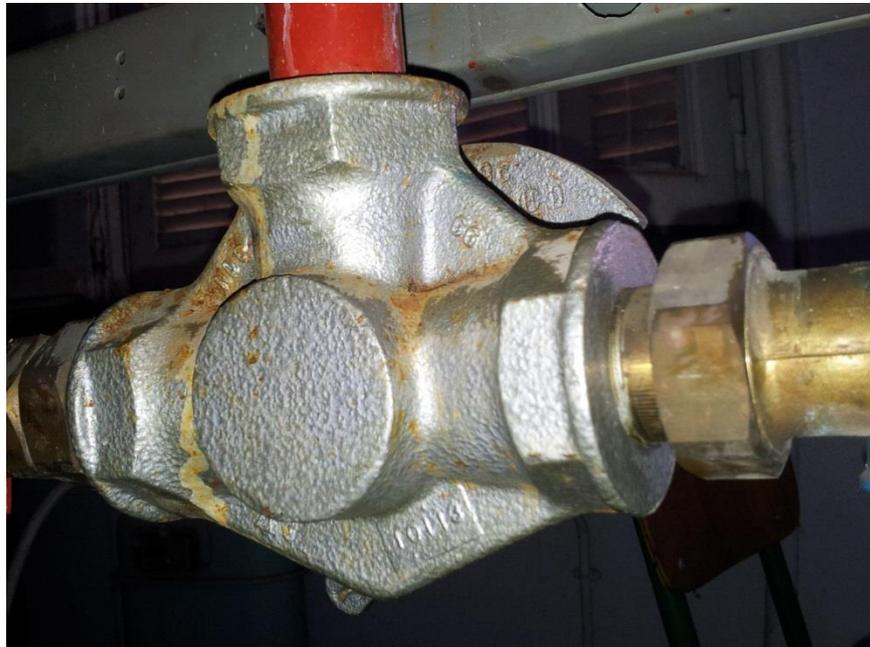


Figure 2.11 : Vanne à 3 voies

Si la vanne est placée à droite de la chaudière, le moteur doit tourner dans le sens anti-horlogique pour ouvrir la vanne (figure 1.12).

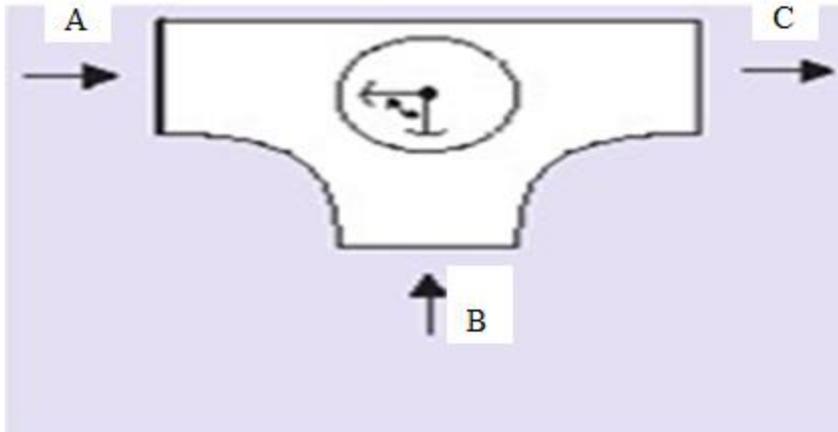


Figure 2.12 : Vanne à droite de la chaudière

Si la vanne est placée à gauche de la chaudière, le moteur doit tourner dans le sens horlogique pour ouvrir la vanne (figure 1.13).

L'angle de course de la vanne est de 90° .

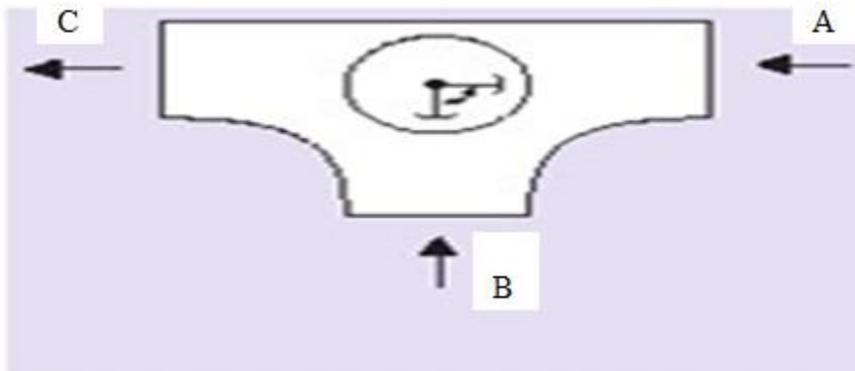


Figure 2.13 : Vanne à gauche de la chaudière

2.1.7 Le régulateur à contre-courant

Dans le cas d'une puissance calorifique supérieure à celle évacuée par les différents éléments de chauffe, on peut utiliser le régulateur à contre-courant dont la capacité est d'environ $30000 \text{ kcal.h}^{-1}$.

Celui-ci est équipé d'un compteur d'eau et de deux thermomètres installés sur les conduites d'eau froide et d'eau chaude (figure 2.14).



Figure 2.14 : Régulateur à contre-courant

2.1.8 Les dispositifs de sécurité

L'installation est dotée de plusieurs dispositifs de sécurité afin de prévenir tout incident qui peut survenir au cours des manipulations.

Ils doivent protéger l'installation vis à vis des risques d'accident. Les fonctions principales à assurer sont:

- Permettre l'expansion du fluide de chauffage,
- Assurer la charge nécessaire au fonctionnement de l'installation, évacuer l'excédent d'eau,
- Limiter la pression à la valeur maximale admise,
- Limiter la température de l'eau.

L'appareil qui assure l'essentiel de ces fonctions est le **vase d'expansion**. Il en existe deux types:

2.1.8.1 Le vase sous pression

Son rôle est d'absorber l'augmentation du volume d'eau due à l'effet de la dilatation de l'eau.

Pour les petites installations ($P < 80 \text{ kW}$) on utilise des vases d'expansion fermés sous pression.

Le vase cylindrique en acier est séparé en deux parties par une membrane en caoutchouc placée à mi-hauteur. L'une est reliée à la chaudière par un tube de sûreté sans vanne, l'autre est remplie de gaz inerte (azote). La pression limite se situe autour de 0,5 bars

(Figures 2.15 et 2.16).

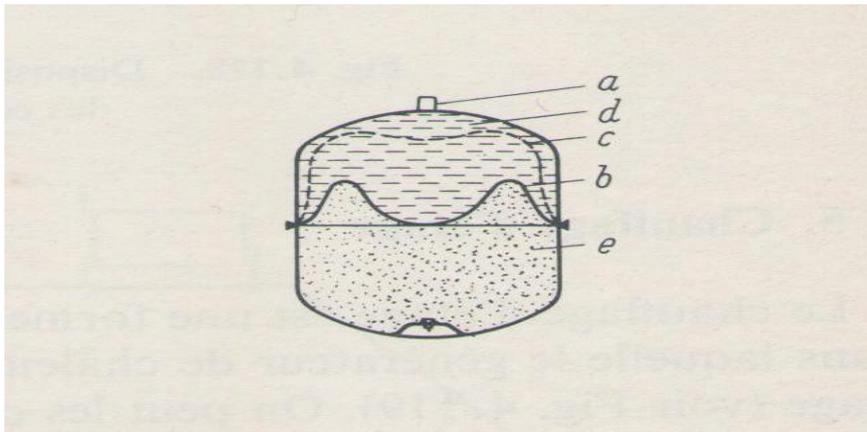


Figure 2.15 : Vase d'expansion fermé avec membrane et coussin de gaz (a) : manchon pour la tuyauterie de raccordement à la chaudière
(b) : membrane en caoutchouc (position lorsque l'installation fonctionne) (c) : Position de la membrane à l'arrêt (d) : eau
(e) : gaz



Figure 2.16 : Vase d'expansion sous pression

2.1.8.2 Le vase d'expansion ouvert

Il est utilisé dans le cas où on travaille en circuit ouvert, de forme cylindrique en tôle d'acier. Il est relié à l'installation par des conduites munies de vannes d'isolations.

(figure 2.17 et figure 2.18).

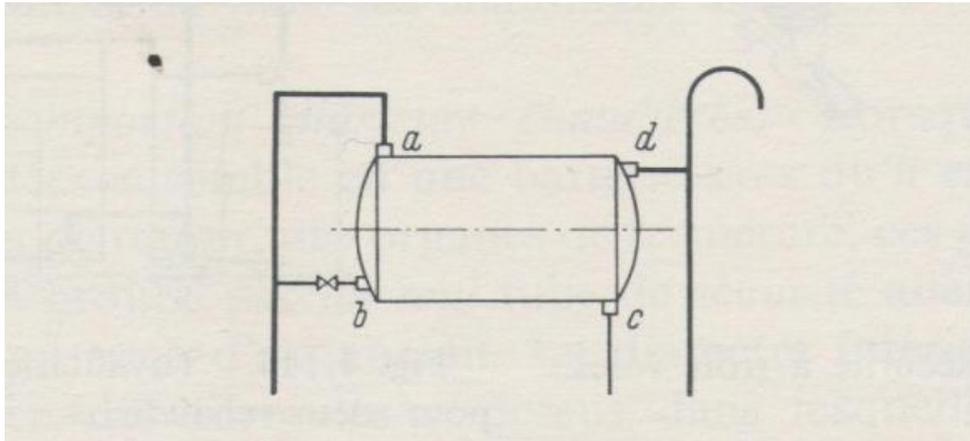


Figure 2.17 : Le vase d'expansion avec ses tuyauteries de service (a) : le tube de sécurité allé (b) : la tuyauterie de circulation (c) : le tube de sécurité retour (d) : la tubulure de trop plein



Figure 2.18 : Vase d'expansion ouvert

2.1.8.3 Une soupape de sécurité

Elle est tarée à 1.2 bars située sur la conduite de sortie de la chaudière.

2.1.8.4 Deux purgeurs

Sont placés sur les points hauts des conduites d'amenée et de retour. (figure 2.19)



Figure 2.19 : Purgeurs

Sur l'ensemble du réseau il est indispensable de placer **des vannes de réglage** sur chaque élément de chauffe qui ont trois fonctions principales. :

- isoler toute partie de l'installation
- régler l'installation (tés de réglage) afin d'assurer l'équilibrage des différentes bandes de réseau (figure 2.20).



Figure 2.20 : Tête de robinet thermostatique simple

2.1.9 Les instruments de régulation

L'installation est équipée d'une centrale de régulation composée :

- D'un **régulateur** avec sélecteur de programme et horloge pour le contrôle de la température de l'eau de chauffage en fonction des conditions atmosphériques.
- Deux sélecteurs de température, faisant office de potentiomètres, un pour simuler la température extérieure et l'autre pour simuler la température de l'eau de chauffage.
- Sélecteur de réglage à distance du sélecteur de température.
- Un servomoteur pour actionner la vanne à quatre voies. (figure 2.21).



Figure 2.21 : Panneau de régulation

2.1.10 Les éléments de chauffe

Les corps de chauffe les plus utilisés dans le chauffage à eau chaude et à vapeur sont les radiateurs (corps de chauffe à éléments), (figure 2.22).

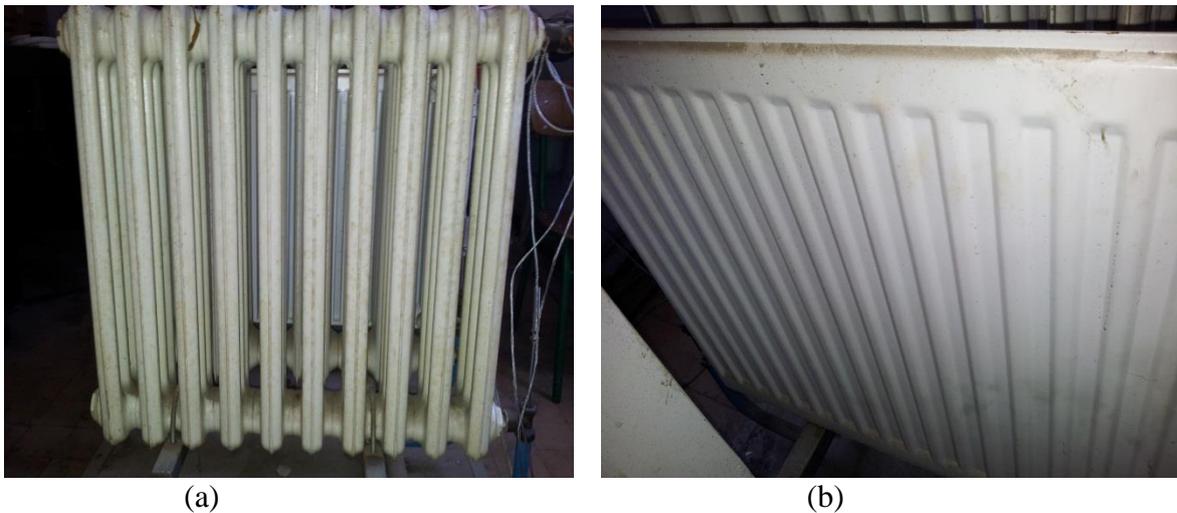


Figure 2.22 : Les corps de chauffe à éléments (a) : radiateur en acier
(b) : radiateur plat

Tout comme pour la chaudière en fonte, l'idée première a été, en assemblant les unes aux autres des pièces identiques (éléments), de constituer des appareils dont la puissance pouvait être fixée à volonté et en réduisant le nombre des modèles d'éléments, de permettre une fabrication en grande série peu coûteuse.

Les éléments sont solidement assemblés entre eux au moyen de nippes coniques ou filetées ; ou s'il s'agit de radiateur en acier, par soudure.

2.1.10.1 Les radiateurs normalisés

Le grand nombre de radiateurs fabriqués à l'origine a été fortement réduit par la normalisation des dimensions. Récemment une standardisation des formes d'exécution a eu pour résultat une normalisation des dimensions qui a, maintenant, rendu interchangeables des matériels fabriqués par les différents constructeurs. En même temps une modification des côtes principales a permis de réduire à 9, aussi bien pour la fonte que pour l'acier, le nombre des modèles, la figure (2.23) représente la coupe des radiateurs actuels de 160 mm de largeur pour la fonte et en acier. Dans les radiateurs en fonte le profil en forme de nageoire assez aplatie de l'ancien modèle normalisé a fait place à une coupe d'un profil plus accentué. Le radiateur devient ainsi plus semblable aux modèles anciens à colonnettes. L'adoption des éléments répondent au souci de faciliter le nettoyage [9].

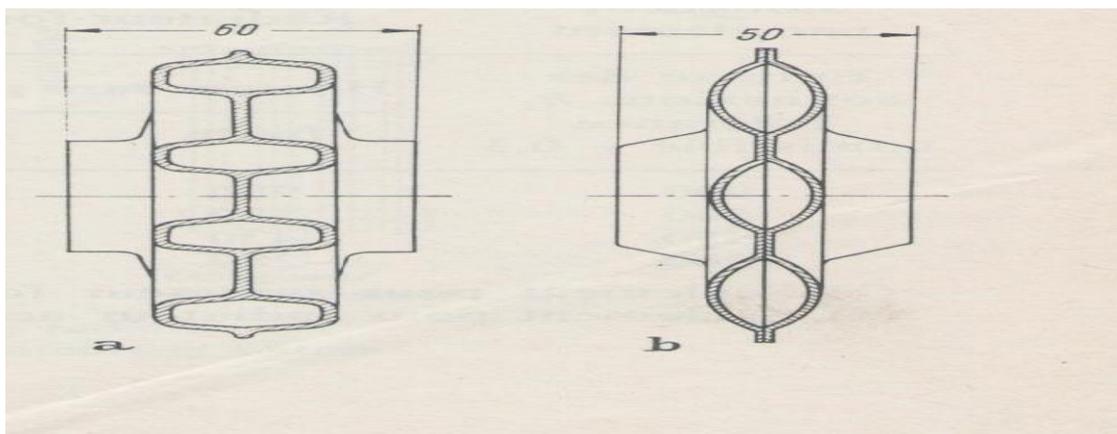


Figure 2.23 : Les coupes des radiateurs (a) : radiateurs fonte, nouveau modèle, suivant DIN 4720 (b) : radiateurs acier suivant DIN 4722

2.1.10.2 L'utilisation des éléments de chauffe

Le mode d'utilisation des éléments de chauffe dépend de leurs caractéristiques et des besoins en chaleur de l'utilisateur.

Les radiateurs en fonte possède une grande inertie thermique, conviennent également bien pour les chauffages à vapeur et à eau chaude, par contre les radiateurs en acier ne peuvent, par suite de leur moindre résistance à la corrosion, être employés que pour le chauffage à eau chaude. Les pressions et températures maximales admissibles sont indiquées au tableau (2.1).

Pour la même puissance un radiateur en acier pèse la moitié d'un radiateur en fonte mais sa capacité d'absorption calorifique est plus faible, les radiateurs acier résistent mieux à la gelée mais leur durée de vie est plus faible et nécessite souvent une vidange.

Les convecteurs peuvent être utilisés avec de l'eau chaude ou de la vapeur à basse pression, leur faible inertie thermique les préconise plus spécialement pour équiper les locaux dont la durée d'occupation, et par suite le chauffage est court [9].

Tableau (2.1) : Domaines d'utilisation des radiateurs standards

exécution	Système de chauffage	pression de service maximale (atm)	Température de service maximale (°c)
Normale	Eau chaude basse pression	4	110
	vapeur	2	113
spécial	Eau chaude basse pression	6	140
	vapeur	4	151

2.1.10.3 La peinture des éléments de chauffe

Pour la peinture, les radiateurs à eau chaude et à vapeur basse pression sont livrés avec une première couche de peinture antirouille dont la nature doit s'accorder avec la peinture définitive si l'on veut éviter l'écaillage de cette dernière. Pour les convecteurs par contre, seulement l'habillage qui est peint généralement [9].

2.1.10.4 Le revêtement des éléments de chauffe

Ces habillages sont à éviter le plus possible car ils présentent le très grand inconvénient de rendre très difficile le nettoyage du radiateur.

MONTAGE EXPÉRIMENTAL

De plus, tout habillage nuit à l'émission de chaleur du radiateur en ce sens que, d'une part il fait obstacle à la transmission par convection.

La figure (2.24) nous donne une idée des diminutions d'efficacité attendues [9].

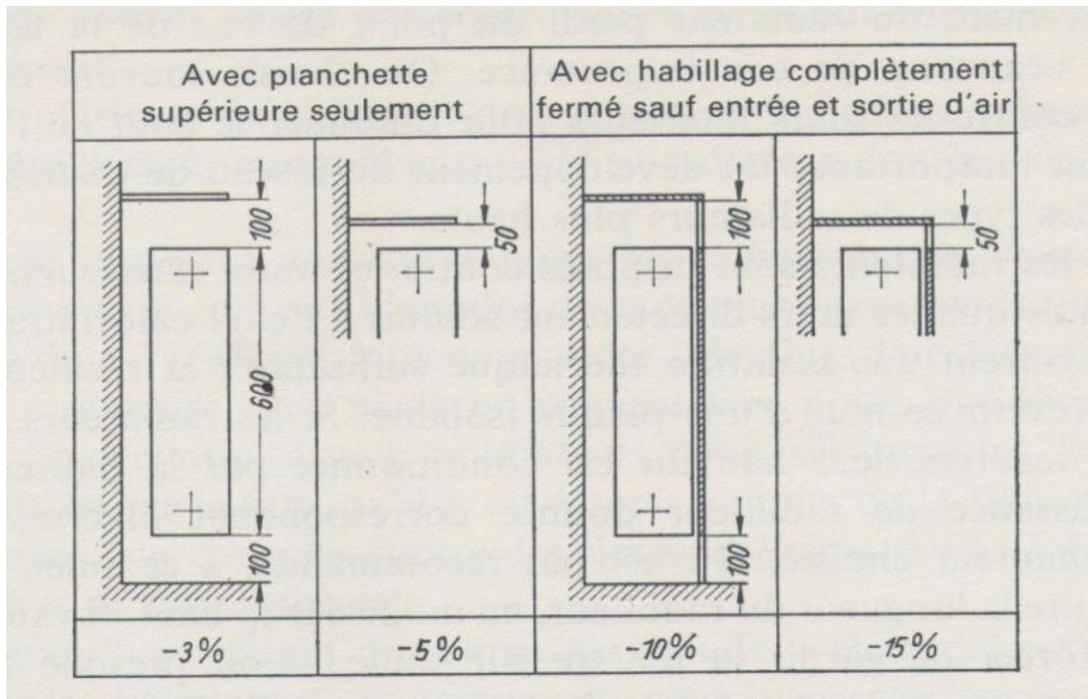


Figure 2.24 : Détermination de la puissance spécifique des radiateurs de 500 à 600 mm d'entraxe des connections lorsqu'ils sont placés sous habillage

L'habillage des éléments de chauffe doit répondre à certains critères :

- L'habillage des radiateurs ne doit pas nuire au transfert de chaleur, et facilement démontable, et doit comporter des ouvertures permettant une circulation de l'air suffisante pour ne pas affecter les performances du radiateur.
- Les convecteurs doivent être placés le plus bas possible dans leurs niches afin que l'habillage produise l'effet de tirage de l'air du bas vers le haut augmentant ainsi le coefficient de transmission de la chaleur, certains habillages spéciaux assurent même le contrôle de la puissance par l'intermédiaire d'éléments amovibles.

2.1.10.5 L'emplacement des éléments de chauffe

Lors du placement des éléments de chauffe, il faut veiller à ce que le nettoyage soit facile, que les mouvements de convection de l'air ne soient pas contrariés et qu'aucun obstacle ne s'oppose au rayonnement.

La partie inférieure des éléments de chauffe doit être à sept cm au moins au-dessous du sol et quatre cm du mur (figure 2.25) [9]

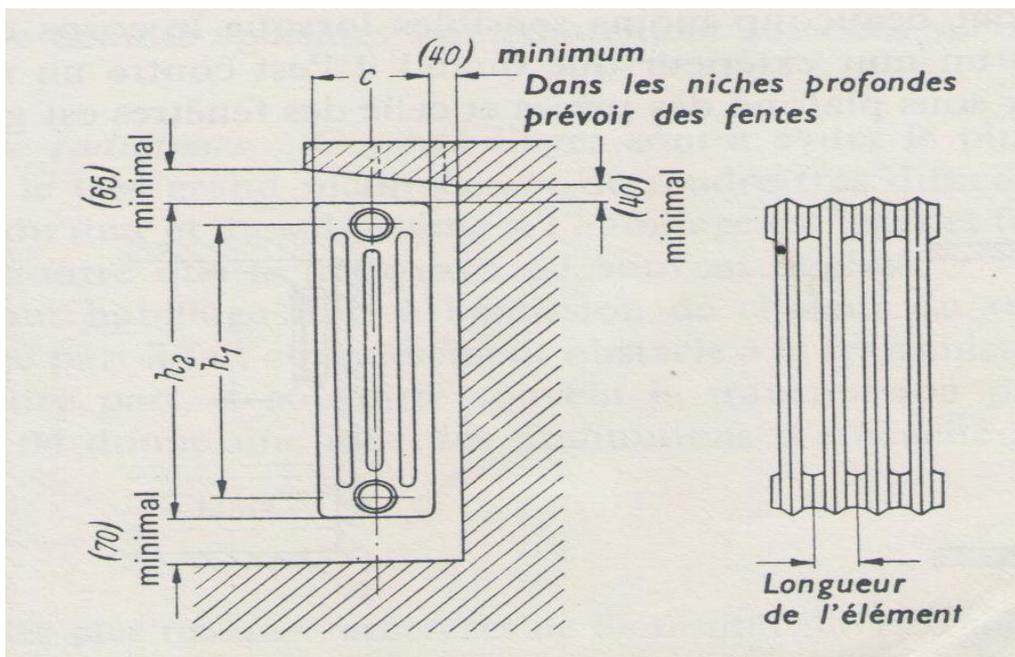


Figure 2.25 : Dimensions des radiateurs et côtes d'écartement entre radiateur et paroi

2.1.10.6 La puissance nominale des éléments de chauffe sur le banc d'essai

Sur notre banc on a :

- Un radiateur en fonte, norme DIN 4720, de puissance calorifique $810 \text{ kcal.h}^{-1}=940.5\text{W}$
- Un radiateur en acier, de puissance calorifique $630\text{kcal.h}^{-1}=731.5\text{W}$ conforme à la norme DIN 4722
- Un radiateur plat manostat, convecteur de type non normalisé.

- Un convecteur composé de :
 - ✓ Trois tuyaux de forme elliptique
 - ✓ 135 ailettes rectangulaires dont les bords sont soudés à une lame transversale de chaque côté. Le convecteur est de type non normalisé [10].

Figure 2.26 : montage du banc d'essai de chauffage central

1. Chaudière
2. Bruleur
3. Double thermostat
4. Thermomètre a mercure
5. Manomètre
6. Soupape de sécurité
7. Vase d'expansion ouvert
8. Cône collecteur
9. Vane de mélange à 3 voies
10. Pompe + moteur
11. Manomètre
12. Vanne
13. Conduite d'alimentation des éléments de chauffe en eau chaude
14. Purgeur
15. Echangeur (régulateur à contre-courant)
16. Radiateur en fonte
17. Radiateur en acier
18. Radiateur plat
19. Convecteur
20. Habillage de convecteur
21. Débitmètre (200-2500) L.h⁻¹
22. Servomoteur
23. Vanne de mélange à 4 voies
24. Conduite de retour de l'eau
25. Thermomètre a cadran
26. Vase d'expansion fermé
27. Débitmètre (100-1000) L/h
28. Vanne d'alimentation de l'installation
29. Tableau de commande
30. Chariot

Chapitre 3

Mise en marche et modernisation de l'installation

3.1 Fonctionnement de l'installation

La mise en route du banc d'essai se fait en deux étapes qui sont les suivantes :

3.1.1 Le remplissage de l'installation

Remplir en cycle de travail ouvert (c'est à dire en contact avec l'atmosphère par l'intermédiaire du vase d'expansion ouvert). Ouvrir les vannes des consommateurs de chaleur et les vannes situées dans les conduites d'alimentation, de retour et de sécurité. Les purgeurs placés dans les points hauts des conduites d'alimentation et de retour doivent être ouverts.

Remplir l'installation en eau par la vanne d'alimentation au bas de la chaudière jusqu'à ce qu'elle s'écoule par le dispositif d'évacuation.

Pour un travail en cycle fermé les vannes des conduites de sécurité du vase d'expansion ouvert doivent être fermées avant la vanne d'alimentation.

La pression maximale de fonctionnement du banc est de 1.5 bar.

Sur les installations fermées, l'aiguille du manomètre doit se trouver* à l'intérieur du marquage vert**.

Vérifiez si l'aiguille du manomètre* se situe à l'intérieur du marquage vert **.

Si l'aiguille du manomètre *est en- dessous du marquage vert**, la pression d'eau de l'installation est trop faible. Vous devez rajouter de l'eau d'appoint à l'eau de chauffage existante.

Fermez la vanne d'alimentation lorsque la pression de fonctionnement voulue est atteinte [10].

* comme illustre la figure 3.1 à la position 2

**comme illustre la figure 3.1 à la position 3

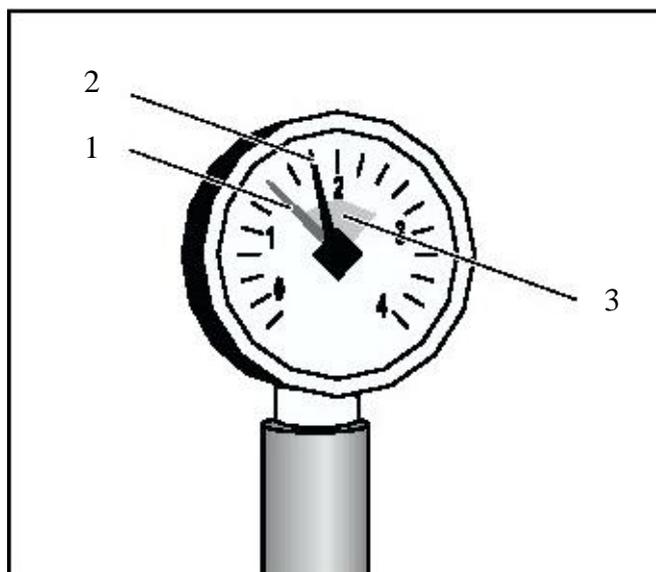


Figure 3.1 : Manomètre pour installations fermées (Pos. 1) : Aiguille rouge (Pos. 2): Aiguille du manomètre (Pos. 3): Marquage vert

Pour un travail en cycle ouvert, on ouvre lentement l'une des deux vannes d'isolation du vase d'expansion ouvert, afin de permettre à l'eau de s'écouler lentement sous pression dans le vase d'expansion.

Faire tourner les pompes à leur régime maximal pendant une demi-heure avec des arrêts de trois minutes après dix minutes de fonctionnement de telle manière à purger l'air qui se trouve dans les conduites et les surfaces de chauffe. Cette opération est terminée, fermez les purgeurs.

3.1.2 La mise en route du brûleur

Pour mettre le brûleur en marche, on suit les étapes suivantes :

- Faire le branchement du gaz et électrique du brûleur.
- Ouvrir toutes les vannes de l'installation sauf les vannes des conduites de sécurité d'isolation du vase d'expansion ouvert en cas de travail en cycle fermé.
- Choisir à l'aide du thermostat, sur la chaudière la valeur maximale de la température de l'eau que l'on veut atteindre.
- Ouvrir la vanne du gaz.
- Réarmer le brûleur si le voyant rouge sur le brûleur s'allume, réarmer une autre fois.
- Au démarrage du brûleur, faire tourner les pompes.
- Surveiller la pression à l'intérieur de la chaudière sur le manomètre, s'il y a une élévation de pression qui risque de dépasser la limite maximale de 1.5 bar ,ouvrir un peu et lentement la vanne de sécurité sur la conduite bleue d'isolation de vase d'expansion ouvert jusqu'à ce que la pression diminue, puis fermer la vanne. Lorsque la température consignée sur le thermostat est atteinte le brûleur s'arrête.
- Fermer la vanne du gaz et déconnecter la fiche du brûleur sur le tableau de commande.
- Choisir le circuit de passage d'eau en agissant sur les vannes placées sur les conduites, surfaces de chauffe et régulateur à contre-courant suivant le type d'expérience qu'on veut réaliser.

3.2 La maintenance du banc

Pendant nos essais sur le banc on a mis en évidence certains pannes qui peuvent survenir avant ou au cours des manipulations .D'où le but de ce chapitre concernant les réparations nécessaires :

3.2.1 Le grippage des pompes

Sa mise en évidence se fait après leurs mise en marche, on remarque que les rotamètres indiquent un débit nul et les moteurs des pompes commencent à s'échauffer .Il faut vérifier que toutes les vannes du circuit d'alimentation des éléments de chauffe sont ouvertes.

Pour la réparation on procède comme suit :

- Couper l'alimentation électrique du banc
- Vidanger l'installation par la vanne d'alimentation
- A l'aide d'une clé alène de six dévisser les deux vis qui tiennent la pompe à la conduite.
- Faire sortir la pompe de son logement.
- Dégripper le rotor de l'hélice en la faisant tourner dans un sens puis dans l'autre avec la main.
- Remonter la pompe en procédant aux opérations déjà faites dans le sens inverse, serrer les vis de la pompe alternativement pour ne pas détruire leur filetage et pour avoir une bonne étanchéité.
- Alimenter l'installation en électricité et vérifier que les pompes fonctionnent normalement.

3.2.2 Le blocage du l'imitateur thermique de sécurité

Lorsque la température de l'eau de la chaudière dépasse les 95 °C le l'imitateur de sécurité ouvre le circuit électrique d'alimentation du bruleur par l'effet de dilatation thermique d'une lame de la forme d'une assiette .On met en évidence cette panne lors du réarmement du bruleur ou normalement on a le bouton voyant qui devrait s'allumer on appuyant dessus.

Pour la réparation nécessaire à apporter en procède comme suit :

- Couper l'alimentation électrique du banc
- Dévisser la vis rouge en plastique sur la face supérieure du thermostat qui est sur la chaudière.
- Introduire une allumette et appuyer la lame vers le bas jusqu'à entendre un déclic de telle manière que la lame soit enclenché vers le bas.
- Fermer la vis.

Procéder à la mise en marche du bruleur si l'essai est négatif une vérification interne du thermostat est nécessaire.

Enlever le couvercle du thermostat en dévissant la vis sur sa face du derrière et procéder à l'aide de l'ohmmètre à la vérification du circuit électrique suivant *Si aux points (A, B) on a une différence de potentielle nulle on coupe l'alimentation électrique et on appuie la lame vers le bas du l'imitateur de sécurité

Rétablir le courant et refaire une autre vérification avec l'ohm-mètre des points (A, B) pour vérifier si le courant est établi.

*comme illustre la figure 3.2.

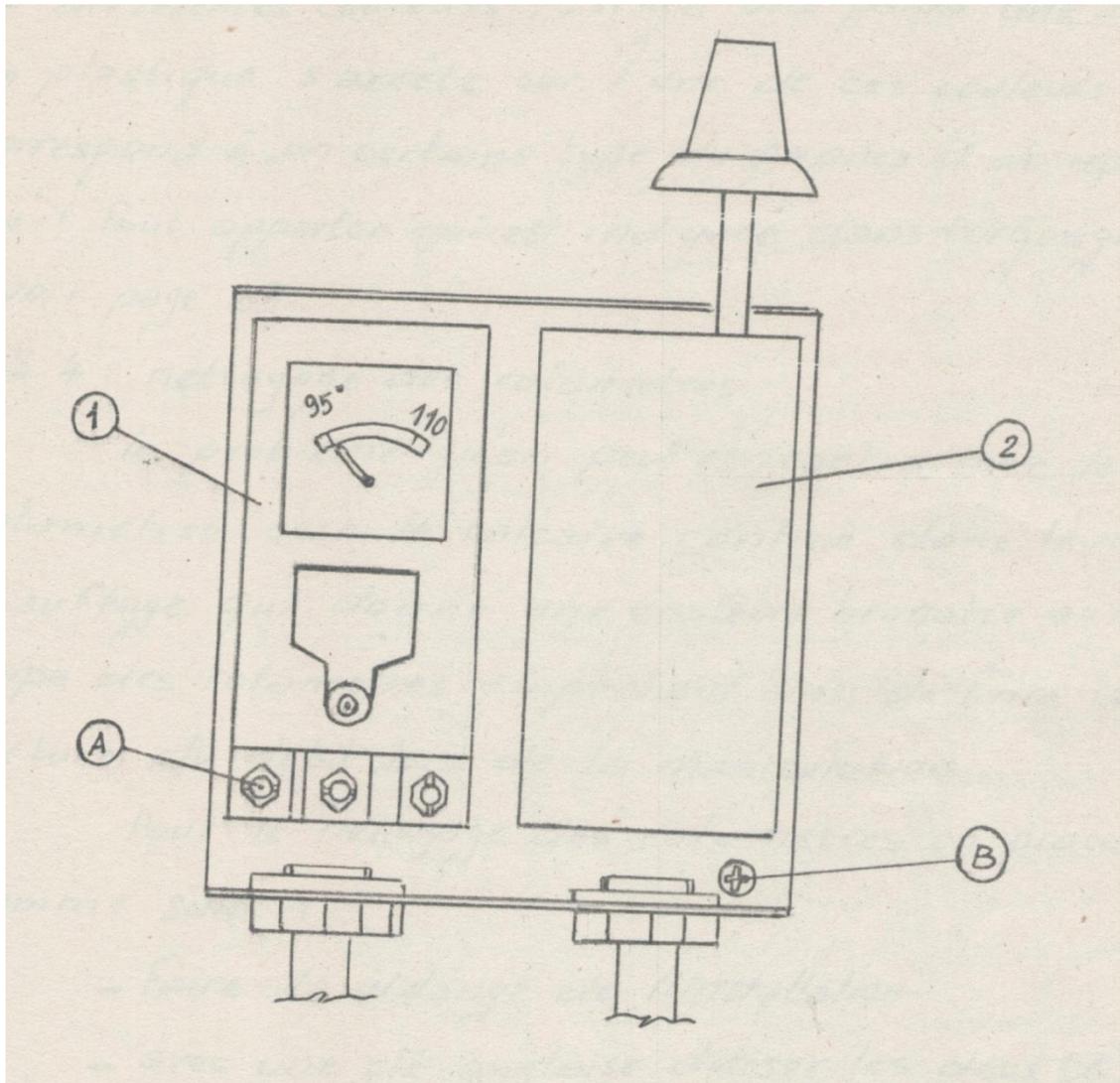
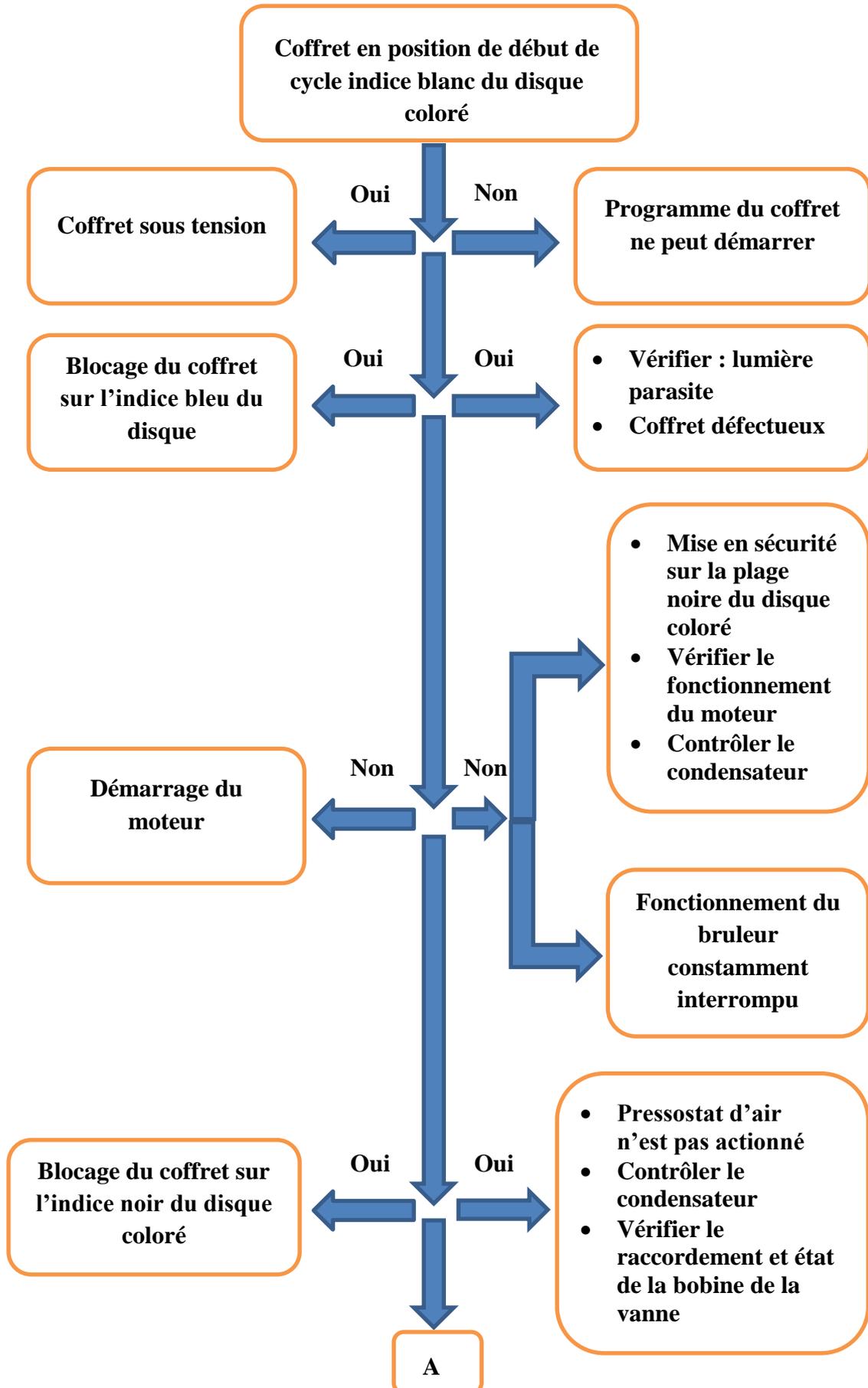


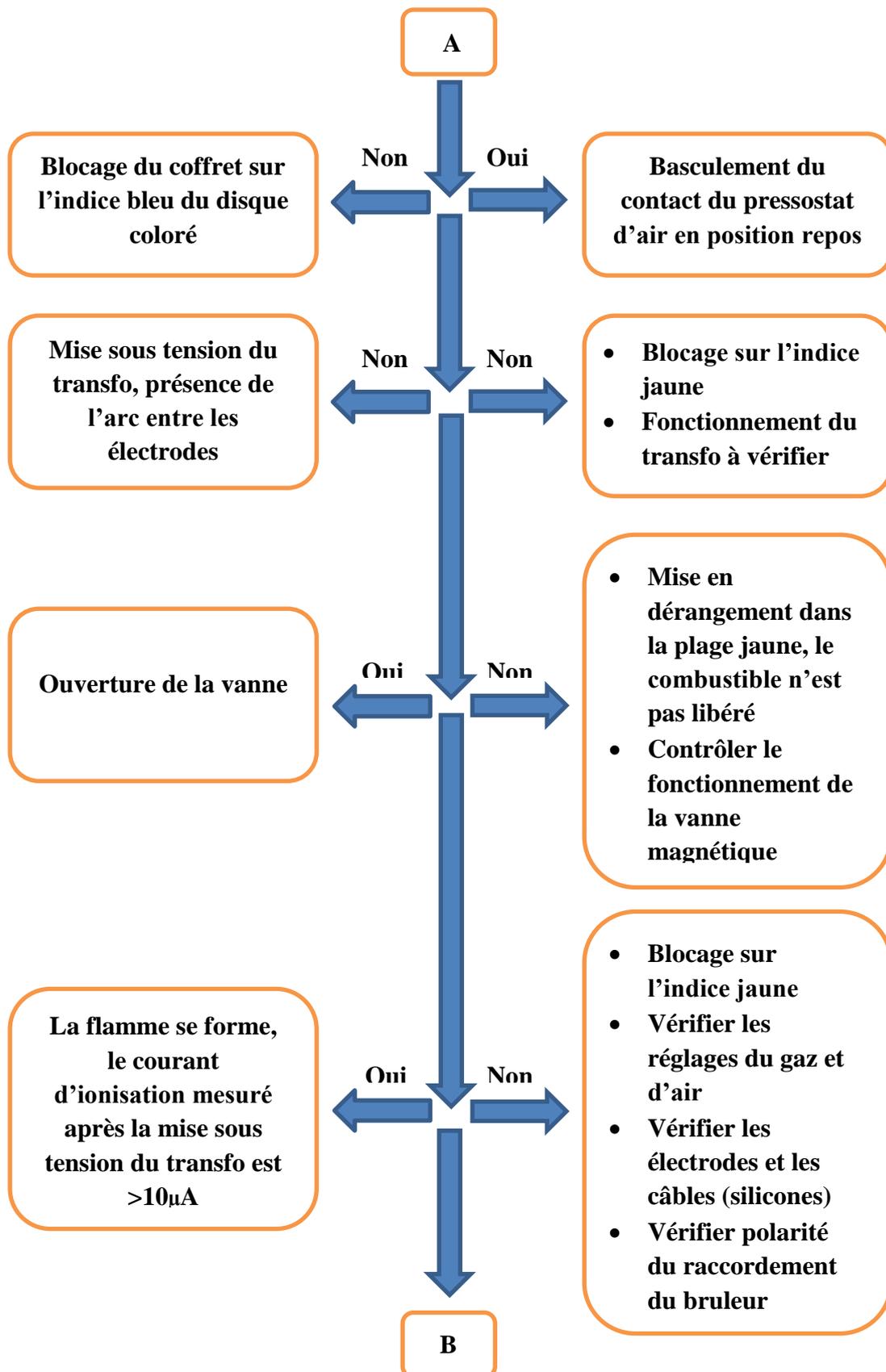
Figure 3.2 : Vérification du circuit électrique du l'imitateur thermique de sécurité (1) : l'imitateur thermique de sécurité
(2): régulateur de température.

3.2.3 Les pannes du bruleur

Pour faciliter la détection de ces pannes le servomoteur du bruleur est équipé en haut de sa face droite d'un disque dont la surface latérale est colorée de différentes couleurs, s'il y a une panne une aiguille en plastique s'arrête sur l'une de ces couleurs qui correspond à un certain type de pannes et de certaines réparations qu'il faut apporter qui est indiquée dans l'organigramme (figure 3.3).

Les pannes qui caractérisent spécialement le bruleur pendant sa mise en route ou pendant la marche normale ont été mises sous forme d'organigramme (figure 3.3).





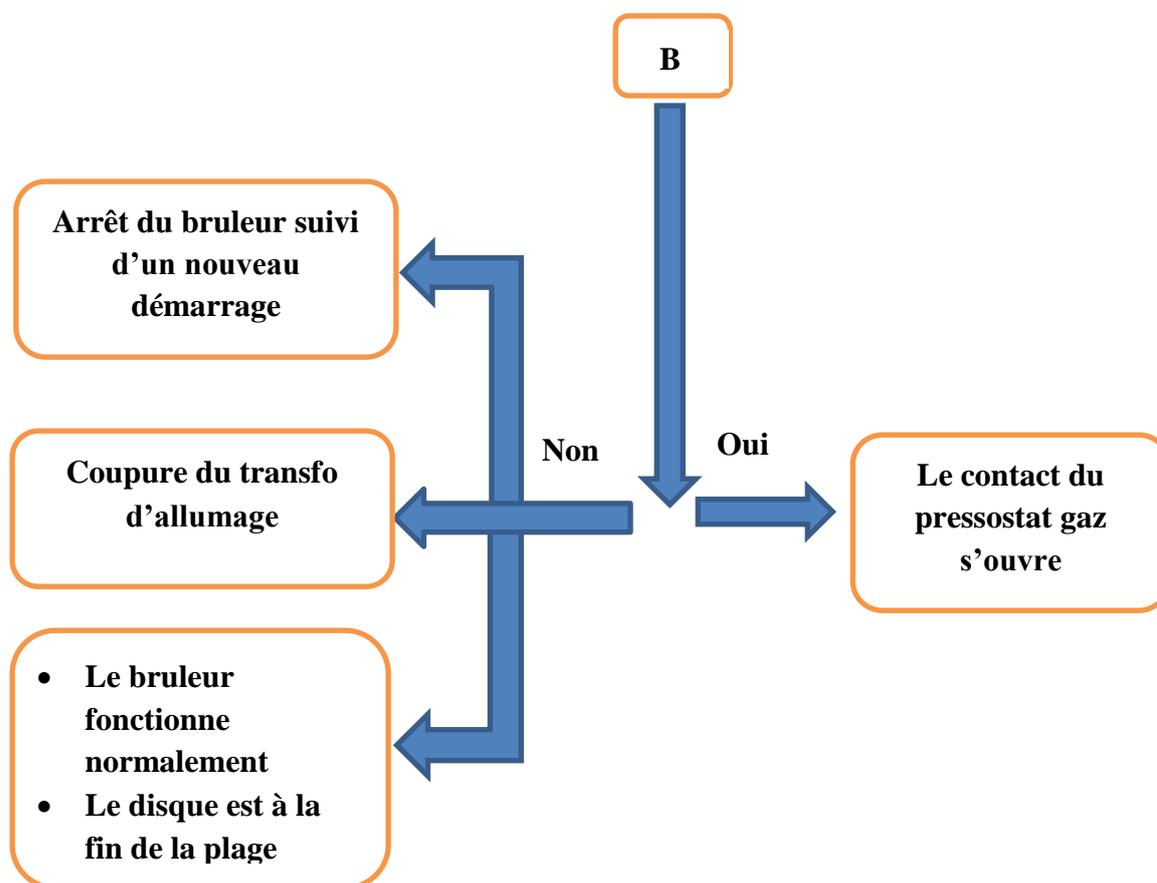


Figure 3.3 : organigramme pour la maintenance du bruleur

3.2.4 Le nettoyage des rotamètres

Le problème qu'on peut rencontrer avec les rotamètres c'est le calcaire contenu dans l'eau de chauffage qui donne une couleur brunâtre aux corps de rotamètres empêchant ainsi de faire la lecture du débit lors de la manipulation

Pour le nettoyage des rotamètres on procède comme suit :

- Faire la vidange de l'installation
- Avec une clé anglaise dévisser les deux écrous de chaque rotamètre
- Faire sortir le rotamètre de son logement, enlever les deux limiteurs de courses en plastique et le flotteur
- Laver le corps du rotamètre avec une brosse
- Remonter chaque rotamètre dans son logement, faire attention aux joints toriques qui se trouvent sur les rotamètres.

3.2.5 Le détartrage des surfaces de chauffe

Si le détartrage des surfaces de chauffe s'avère nécessaire on procède alors comme suit :

- Vidanger l'installation
- Introduire le liquide détartrant
- Remplir l'installation en eau
- Faire tourner les pompes pendant deux heures avec des intervalles d'arrêt de 10 minutes et des périodes de fonctionnement de 15 minutes
- Vidanger l'installation après la période de deux heures
- Remplir l'installation et faire circuler l'eau à l'aide des pompes pendant 10 minutes pour le lavage
- Vidanger à nouveau
- Remplir l'installation pour la manipulation

3.3 mesure de température –système d'acquisition de données

Pour mesurer les températures du fluide chauffant à l'entrée de l'élément de chauffe, on utilise le thermomètre placé sur la conduite de l'alimentation (rouge), par contre pour l'obtention des températures du fluide chauffant à la sortie de l'élément de chauffe, on a équipé l'installation par des thermocouples de type « K » placé sur chacun des éléments de chauffe (figure 3.4).

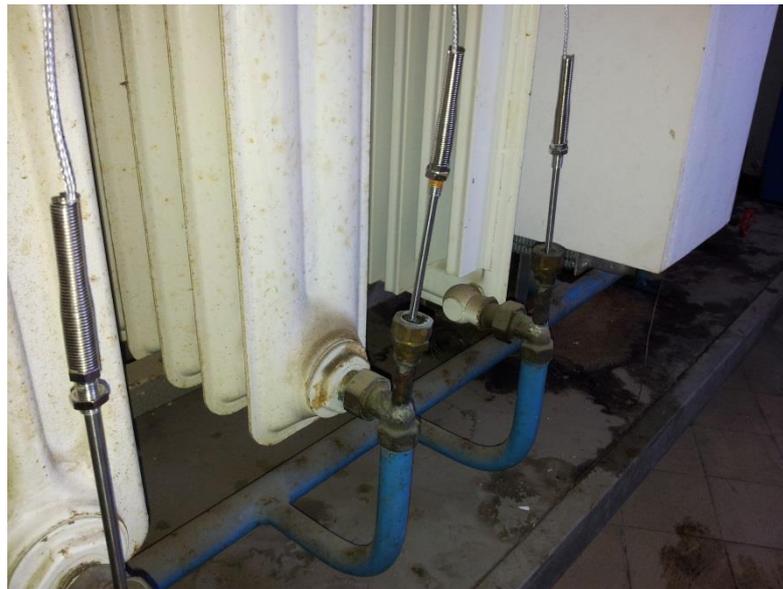


Figure 3.4 : Thermocouples

Ces thermocouples, sont reliés directement à une carte d'acquisition appelée « NI-DAQ MAX », qui nous permet d'avoir les valeurs sous forme d'un tableau Excel et visualiser la variation de la température en fonction du temps.

3.3.1 L'installation de « NI- DAQ MAX »

Avant de placer la carte PCI dans son logement à l'intérieure de l'unité centrale, on doit installer les pilotes de cette carte à partir du CD «NI –DAQ components »partie 1 et 2 [11].

3.3.2 La configuration de la carte « TBX-68T »

La carte d'acquisition « TBX-68T » serait interfacée à l'ordinateur après avoir installé les pilotes du logiciel « MEASUREMENT & AUTOMATION EXPLORER » sur ce dernier, ce qui nous permettrait d'effectuer les mesures des différentes températures.

Pour configurer la carte, on suit les étapes suivantes :

- Sélectionner la catégorie **Périphériques et interfaces** dans l'arbre de configuration, sur la gauche.
- Double clic sur le **NI 4351 for PCI**.
- Aller dans la catégorie **propriétés**.
- choisir la numérotation 1 pour le **système**.
- sélectionner la carte « TBX-68T » pour le choix des **accessoires**.
- appliquer pour terminer la configuration de la carte.
- passer au test de la carte dans la catégorie **panneaux de test** pour s'assurer du lancement de l'application [11].

3.3.3 L'installation de « VI-LOGGER »

Après l'installation de la carte « NI-DAQ MAX », on passe à l'installation du logiciel « VI-LOGGER », qui nous permet l'appelle des voies virtuelles créées sur le « NI-DAQ MAX », et les exécuter [11].

3.3.4 L'activation de « VI-LOGGER »

Pour utiliser le « VI-LOGGER », il faut l'activer tout d'abord sinon n'apparaît pas dans l'arbre de configuration, sur la gauche.

Pour l'activer il faut suivre les étapes suivantes :

- Aller dans **programmes**.
- Sélectionner **National Instruments**.
- Lancer **VI-LOGGER**.
- Aller dans l'arbre **Tools**.
- **Activate** le logiciel en ligne [11].

3.3.5 L'utilisation de « VI-LOGGER »

Pour utiliser « VI-LOGGER » on est obligés de créer des voies virtuelles sur le logiciel

« NI DAQ MAX »

Dans notre cas, on a créé la voie virtuelle appelée « température », et pour cela on a procédé comme suit :

- Sélectionnez la catégorie **Voisinage des données** dans l'arbre de configuration, sur la gauche.
- Création d'une nouvelle voie virtuelle par un clic droit.
- Sélectionnez **entrée analogique**.
- Donnez un nom à la voie (température dans notre cas).
- Sélectionnez **thermocouple K**.
- On choisit **carte PCI**.
- On choisit **intégrée**.

Pour l'appelle de la voie virtuelle « température » on suit les étapes suivantes :

- Aller dans la catégorie **Taches VI-LOGGER**.
- Création d'un nouvel objet par un clic droit.
- Sélectionnez **using traditionnel NI DAQ**.
- Cliquer sur **terminer** pour terminer la création de la tâche [11].

Chapitre 4

Essais et mesures

4.1 Les essais sur le banc

4.1.1 Mesure de la puissance et du coefficient global de transfert de chaleur des corps de chauffe

La première étape de nos essais consiste dans la mesure de la puissance de chaque élément de chauffe et de son coefficient global de transfert de chaleur pour différentes températures.

La puissance calorifique de chaque élément de chauffe sera calculée à partir de la relation (1.2).

Pour le tracé de la courbe caractéristique des radiateurs en fonte et en acier, les données seront calculées à partir des formules (1.2) et (1.7) car ce sont des éléments normalisés. Par contre pour le convecteur et le radiateur plat qui ne sont pas normalisés on tracera la courbe de la relation $Q=f(T_m)$.

Pour le calcul du coefficient global de transfert de chaleur, l'aire des éléments de chauffe n'est pas donnée par le constructeur et nous ne pouvons l'évaluer car ils sont de forme géométrique complexe, donc on est amené à calculer la valeur du produit UA.

$$U.A = \dot{m} C_p \frac{T_{1e} - T_{1s}}{T_{lm}} \quad (4.1)$$

On tracera les courbes de la fonction $U.A=f(T_m)$ pour chaque élément de chauffe.

Pour toutes les configurations nous avons adopté un débit massique du fluide chauffant et chaleur spécifique :

$$\dot{m} = 80 \text{ kg.h}^{-1}$$

$$C_p = 4.176 \text{ kJ.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

Les mesures de températures à l'entrée et à la sortie de chaque élément de chauffe sont résumées dans les tableaux (4.1), (4.2), (4.3), (4.4) dans l'annexe

4.1.1.1 Essais sur le radiateur en fonte norme DIN 4720

Les données :

$$T_i = 22 \text{ °C}$$

$$Q_n = 810 \text{ kcal.h}^{-1} = 940,5 \text{ W}$$

$$\Delta T_n = 60 \text{ °C}$$

4.1.1.2 Essais sur le radiateur en acier DIN 4722

Les données :

$$T_i = 22 \text{ °C}$$

$$Q_n = 630 \text{ kcal.h}^{-1} = 731,5 \text{ W}$$

$$\Delta T_n = 60 \text{ °C}$$

4.1.1.3 Essais sur le radiateur plat

Les données :

$$T_i = 22 \text{ °C}$$

4.1.1.4 Essais sur le convecteur

Les données :

$$T_i = 22 \text{ °C}$$

Les résultats obtenus pour les différents éléments de chauffe sont présentés dans les tableaux (4.4),(4.5),(4.6),(4.7).

Tableau 4.4 : Les résultats sur le radiateur en fonte

T_m (°C)	$T_m - T_i$ (°C)	Q(w)	ΔT_{lm}	Q_i (w)	U.A (W/K)
83	61	1299,211	0,229	961,404	21,297
78,5	56,5	1206,412	0,230	868,244	21,344
76	54	1113,601	0,222	817,525	20,601
72,5	50,5	1020,802	0,217	747,816	20,211
68	46	928	0,217	660,519	20,174
62,5	40,5	835,212	0,214	557,612	19,887
60	38	742,403	0,210	512,306	19,534
58	36	556,801	0,166	476,760	15,404

Tableau 4.5 : Les résultats sur le radiateur en acier

T_m (°C)	$T_m - T_i$ (°C)	Q(w)	ΔT_{lm}	Q_i (w)	U.A (W/K)
83	61	1299,201	0,229	747,812	21,297
78	56	1113,612	0,214	667,210	19,877
75,5	53,5	1020,821	0,205	627,791	19,061
71,5	49,5	835,214	0,181	566,004	16,871
67	45	742,403	0,177	498,451	16,490
61,5	39,5	649,601	0,177	418,930	15,961
59	37	556,814	0,162	383,956	15,042
57,5	35,5	464	0,140	363,341	13,066

Tableau 4.6 : Les résultats sur le radiateur plat

T_m (°C)	$T_m - T_i$ (°C)	Q(w)	ΔT_{lm}	U.A (W/K)
76	54	1113,601	0,222	20,622
73,5	51,5	1020,802	0,213	19,820
70,5	48,5	835,202	0,185	17,220
67	45	742,401	0,177	16,497
64,5	42,5	649,601	0,164	15,284
61	39	556,801	0,153	14,276
57,5	35,5	464	0,141	13,070
56,5	34,5	278,401	0,086	8,069

Tableau 4.7 : Les résultats sur le convecteur

T_m (°C)	$T_m - T_i$ (°C)	Q(w)	ΔT_{lm}	U.A (W/K)
72	50	1299,202	0,281	25,984
69,5	47,5	1206,403	0,273	25,334
66	44	1113,601	0,272	25,056
63,5	41,5	1020,802	0,265	24,592
61	39	928	0,256	23,756
57,5	35,5	835,208	0,253	23,478
56	34	742,411	0,235	21,810
53,5	31,5	649,612	0,222	20,622

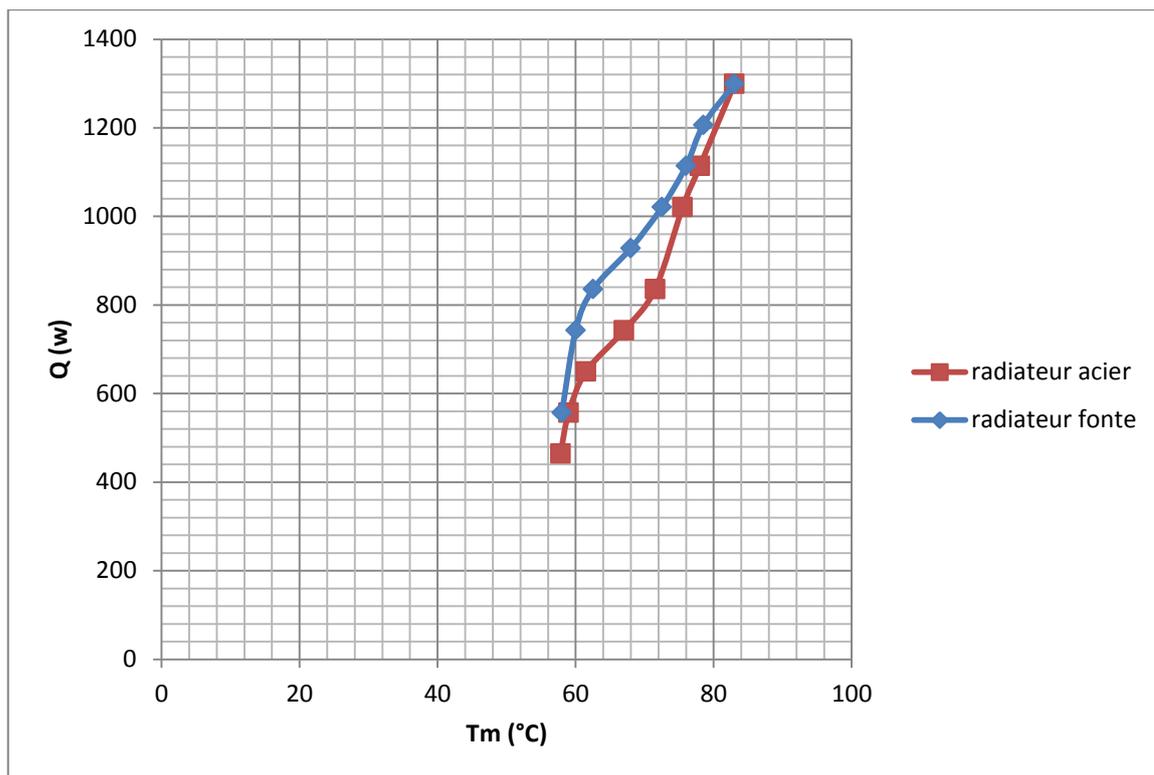


Figure 4.1 : courbes caractéristiques des radiateurs fonte et acier $Q=f(T_m)$

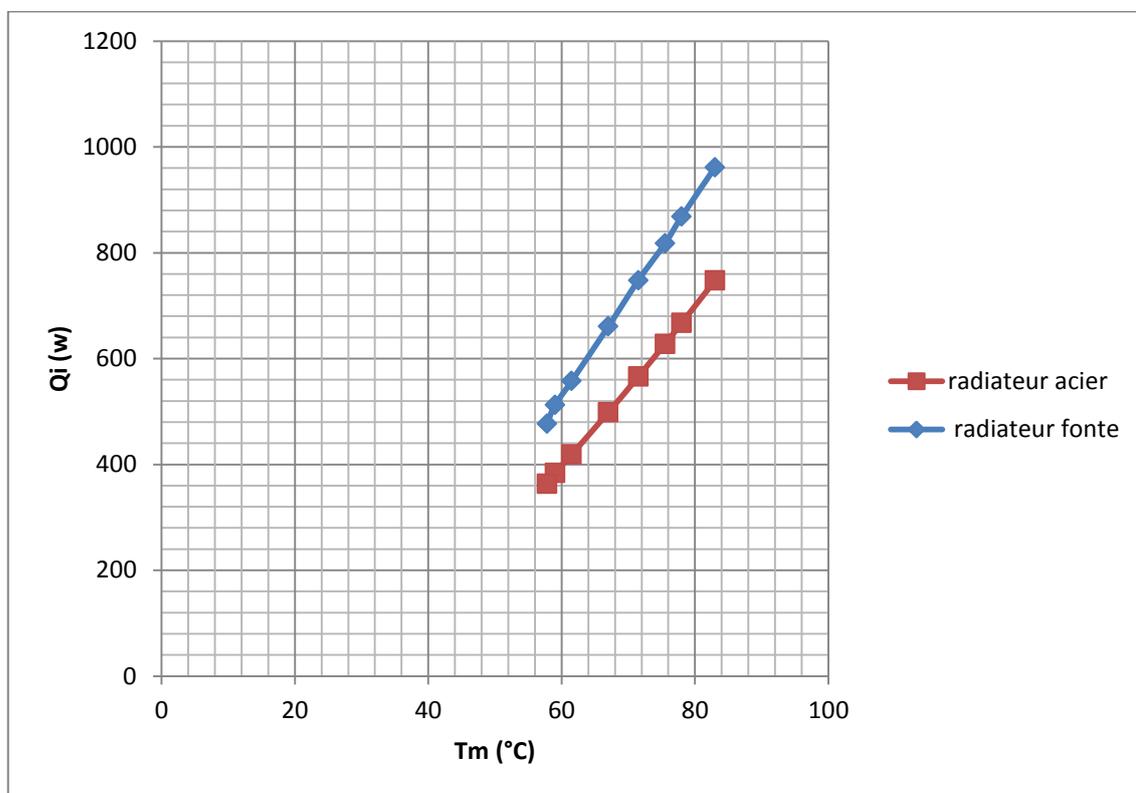


Figure 4.2 : courbes caractéristiques des radiateurs fonte et acier $Q_i=f(T_m)$

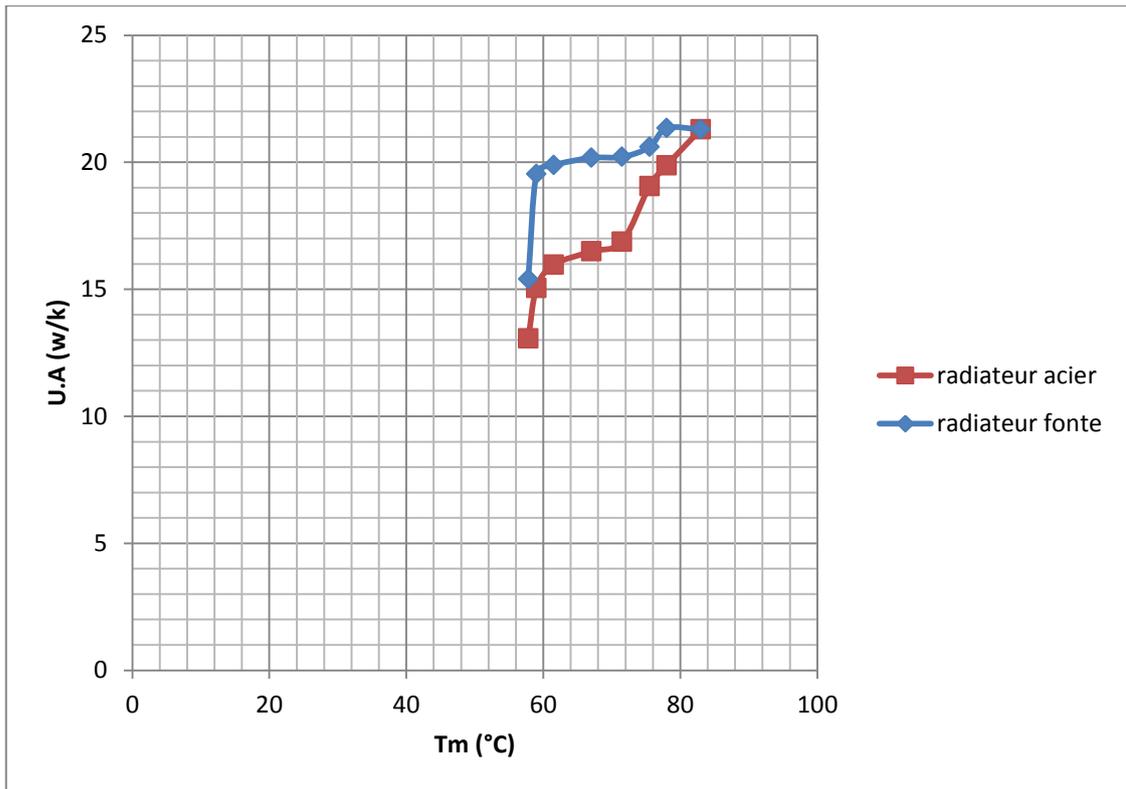


Figure 4.3 : Courbes U.A des radiateurs fonte et acier $U.A=f(T_m)$

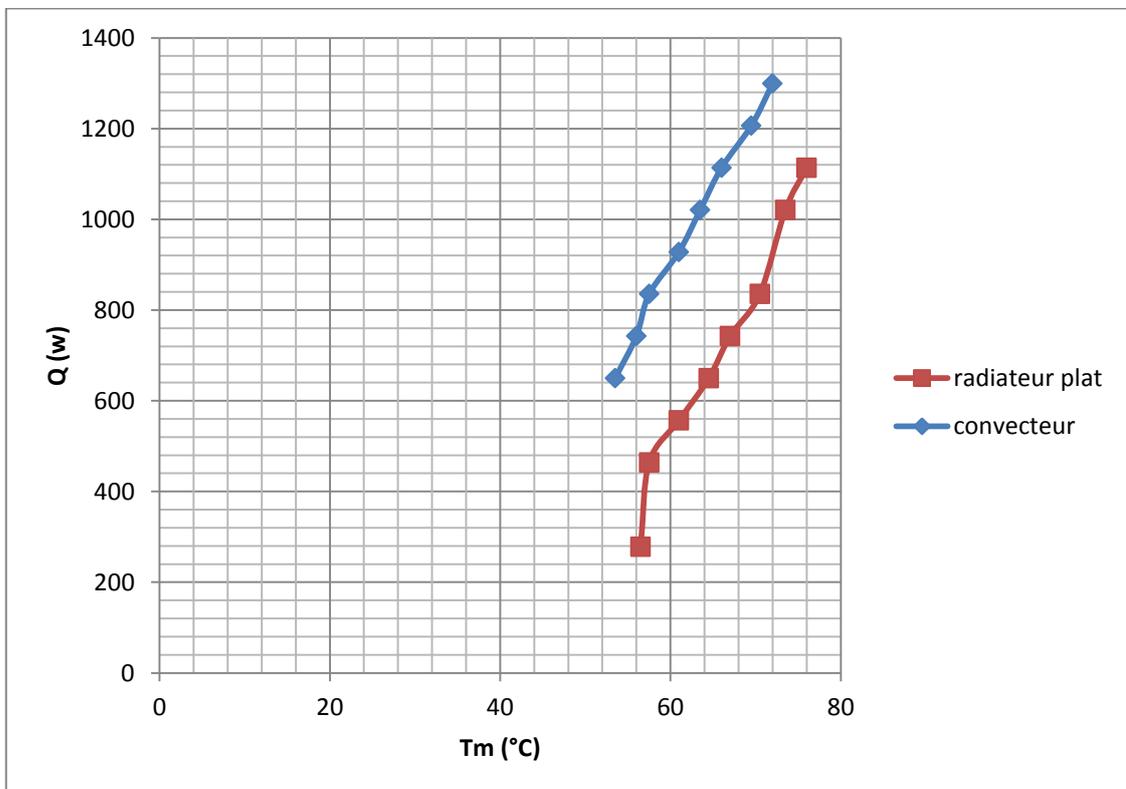


Figure 4.4 : courbes caractéristiques du radiateur plat et convecteur $Q=f(T_m)$

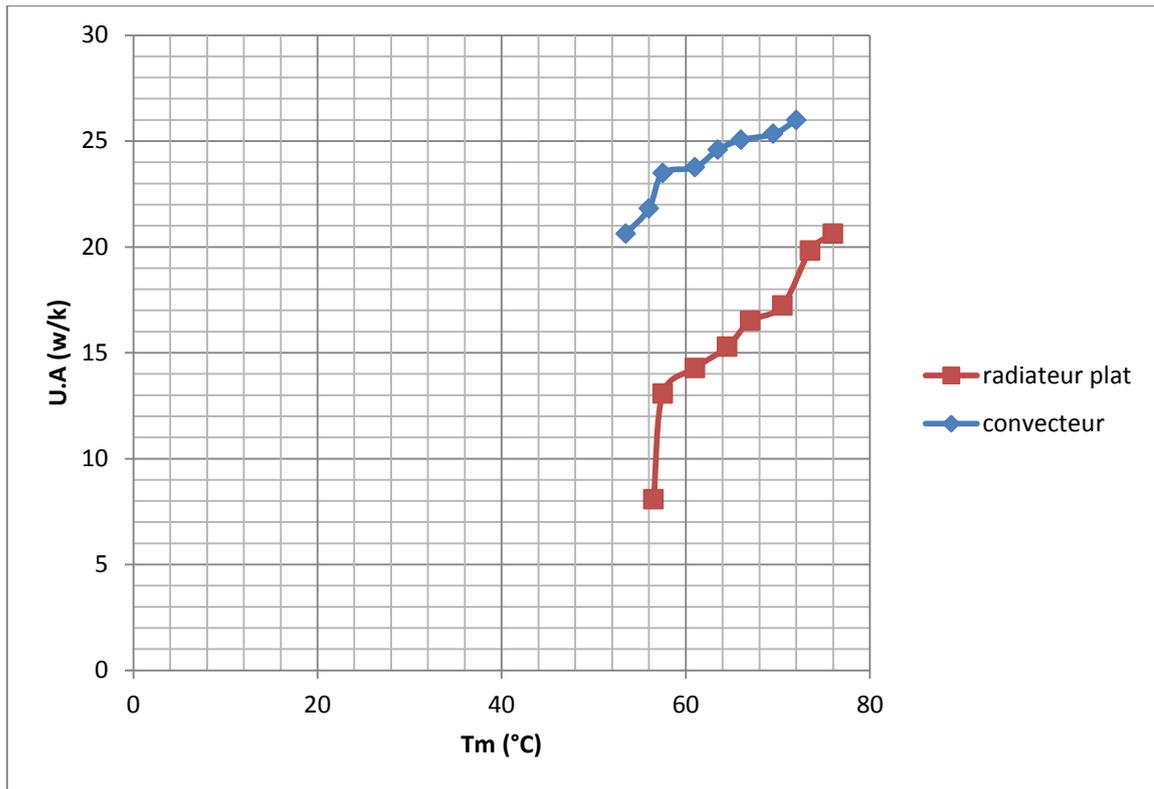


Figure 4.3 : Courbes $U.A$ du radiateur plat et convecteur $U.A=f(T_m)$

4.1.1.5 Conclusion

Après le tracé des courbes caractéristiques des éléments de chauffe, si on fait une comparaison entre le radiateur en fonte et en acier, puis entre le convecteur et le radiateur plat. On remarque pour le premier couple que le radiateur en fonte est plus performant que le radiateur en acier ; cela est dû d'une part à la conductibilité thermique de la fonte qui est supérieure à celle de l'acier employé dans la construction des radiateurs ,d'autre part au brassage de l'eau amélioré dans le radiateur en fonte par trois passages au lieu de deux dans celui en acier.

Pour le deuxième couple ,on remarque que la convecteur est plus performant que le radiateur plat et cela est dû à la surface d'échange du convecteur qui est nettement supérieure à celle du radiateur plat dans une proportion de 2.5, au fur et à mesure qu'augmente la température moyenne du fluide chauffant ,l'effet de tirage du convecteur augmente et conduit à des coefficients de convection naturelle beaucoup plus élevées, c'est pourquoi les performances du convecteur augmente beaucoup plus vite que celle du radiateur plat.

Pour les courbes U.A en fonction de T_m dans la plage de températures mesurées nous remarquons qu'elles ont la même allure que les courbes de puissance en fonction de T_m .

Dans le cas des radiateurs normalisés les courbes restent très régulières ; par contre pour les éléments non normalisés des écarts apparaissent et dont la cause ne peut être qu'accidentelle.

4.1.2 Mesure des caractéristiques de la chaudière

L'échangeur de l'installation est équipé d'un compteur et non d'un débitmètre ce qui nous ramène à utiliser la méthode directe pour mesurer la puissance de la chaudière.

4.1.2.1 Mesure de la puissance de la chaudière

L'échangeur ayant une puissance nettement supérieure à celle de la chaudière d'après les données du constructeur sera utilisé comme consommateur de chaleur permettant ainsi de refroidir l'eau en circulation qui traverse la chaudière

Pour mesurer le débit de l'eau traversant la chaudière on notera qu'on utilise le débitmètre avec la plage de mesure 200-2500 L.h⁻¹

Les résultats :

$$m = 1800 \text{ L.h}^{-1}$$

$$\Delta T = 90 - 80.5 = 9.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_p = 4.176 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Donc :

$$Q = 82684.814 \text{ kJ.h}^{-1}$$

4.1.2.2 le calcul du rendement de la chaudière

Pour calculer le rendement de la chaudière on a besoin de connaître le débit du combustible et son pouvoir calorifique inférieur.

La chaudière est branchée sur un compteur de gaz, en mesurant le temps de consommation d'un certain volume de gaz ainsi on peut en déduire le débit volumétrique.

Pour avoir le volume massique on multiplie le débit volumétrique par la masse volumique du gaz dans ces conditions de pression et de température. En 30 s on a 20 L

$$20\text{L} \longrightarrow 30\text{s}$$

$$? \longrightarrow 1\text{s}$$

$$Bv = \frac{20}{30}$$

$$= 0.666 \text{ L.s}^{-1}$$

Sachant que:

$$\bar{\rho} = 0.847 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{pour} \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{P} = 1.013 \text{ bar} \\ \bar{T} = 0 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$\text{Calculons } \rho_{\text{gaz}} \text{ pour} \quad \left\{ \begin{array}{l} P = 1.0396 \text{ bar} \\ T = 22 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$\frac{P}{T \rho_{\text{gaz}}} = \frac{\bar{P}}{\bar{T} \bar{\rho}}$$

donc :

$$\rho_{\text{gaz}} = \frac{P \bar{\rho} \bar{T}}{T \bar{P}} = \frac{1.0396 * 273 * 0.847}{1.013 * 293}$$

$$= 0.809 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$Bv = 0.666 \text{ L.s}^{-1} = (0.666 \times 3600)/1000 = 2.3976 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$$

$$Bm = Bv \times \rho_{\text{gaz}} = 2.3976 \times 0.809$$

$$= 1.939 \text{ kg.h}^{-1}$$

$$\text{On a le pouvoir calorifique du gaz } P_{ci} = 11650.48 \text{ kcal.kg}^{-1} [12] \quad \text{pour} \quad \left\{ \begin{array}{l} P = 1.0396 \\ T = 22^\circ\text{C} \text{ Donc} \end{array} \right.$$

on a :

$$\begin{aligned} h &= \frac{71409.600}{1.939 \times 4.18 \times 11650.48} \\ &= 0.75 \\ &= 75\% \end{aligned}$$

4.1.2.3 Conclusion

On remarque que la puissance trouvée est nettement inférieure à la puissance donnée par le constructeur et cela est dû aux conditions de mesure. La chaudière n'étant pas équipée de cheminée, les gaz de fumée sont directement dégagés dans le local, changeant ainsi à tout moment la composition du mélange air-gaz.

Pour le rendement de la chaudière, on voit qu'il a une valeur faible par rapport à la normale [77% - 100%], cela est dû essentiellement aux conditions expérimentales qui sont entachées de l'influence des courants des gaz de fumée circulant dans le local.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Notre travail qui avait comme objectif principal de mettre en marche le banc d'essai de chauffage central qui se trouve au sein de l'école nationale polytechnique ainsi que l'intégration d'un système d'acquisition de donnée informatique.

Afin de pouvoir atteindre cet objectif, un diagnostic de tout le système est fait et qui a engendré le changement des dispositifs de sécurité (les purgeurs, le branchement de gaz), le dégrippage des pompes, le nettoyage des rotamètres.

Pour intégrer le système d'acquisition, on était obligé de placer des nouveaux thermocouples de type (K) sur chaque élément de chauffe. Après d'apporter toutes les réparations nécessaires, on a effectué certains tests dont le but était de vérifier le bon fonctionnement du banc d'essais et de déterminer les caractéristiques des différents éléments de chauffe.

A la fin de ce travail on a rédigé un manuel de TP, dans le but d'aider nos chers camarades à bien comprendre le fonctionnement de l'installation et mettre en pratique leurs connaissances théoriques.

On a constaté que :

- Lors des essais, l'installation fonctionne normalement et en toute sécurité
- L'intégration de la carte d'acquisition s'est réalisée avec succès et que les mesures se font sans aucun problème.

On a jugé qu'il était nécessaire de faire quelques améliorations afin d'améliorer les performances de notre installation et qui sont :

- ✓ Mise en place d'une cheminée d'évacuation des gaz de fumée vers l'extérieur du local.
- ✓ Changement du compteur du régulateur à contre-courant par un débit mètre.
- ✓ Usiner des flotteurs pour les débits mètres avec du matériau plus léger que l'aluminium (par exemple l'alpax), ou bien évider leur centre pour diminuer leur masse afin de mesurer des débits plus faibles.

CONCLUSION GÉNÉRALE

- ✓ Changer l'entrée d'eau des éléments de chauffe (radiateur en fonte, radiateur en acier et radiateur plat) en la mettant au sommet opposé à la sortie en diagonale de telle manière à accroître leur puissance calorifique.

Grâce à ce travail, on a pu mettre en pratique toutes les connaissances acquises durant nos années d'études.

Bibliographie

- [1] : F.Kreith « transmission de chaleur et thermodynamique » Masson éditeurs Paris 1967
- [2] : R.Guettab « mise en marche du banc d'essai du chauffage central » mémoire ingénieurat _ENP 1988
- [3] :H.Reitchel « traité de chauffage et de climatisation » tom 2 ,paris 1974
- [4] :Mc. Adams « Le chauffage central dans les habitations ».Edition 1988
- [5] : G.Crous« les différents modes de chauffage ».Edition 2000
- [6] : manuel du constructeur de la chaudière BIDERUS
- [7] : manuel du constructeur bruleur WEISHAUPT
- [8] : « manuel modulaire du chauffage central ». Edition 2005
- [19] : Technique de l'ingénieur référence R 2590
- [10] : Technique de l'ingénieur référence R 2590
- [11] : Manuel de la carte d'acquisition « NI-DAQ MAX »
- [12] : informations sur les caractéristiques de la livraison de gaz (SONELGAZ)

Appendice

Tableau 4.1 les résultats sur le radiateur en acier

Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)
90	76	14
84	72	12
81	70	11
76	67	9
71	63	8
65	58	7
62	56	6
60	55	5

Tableau 4.1 les résultats sur le radiateur en acier

Te (°C)	Ts(°C)	ΔT (°C)
90	76	14
85	72	13
82	70	12
78	67	11
73	63	10
67	58	9
64	56	8
61	55	6

Tableau 4.1 les résultats sur le radiateur plat

Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)
82	70	12
79	68	11
75	66	9
71	63	8
68	61	7
64	58	6
6	55	5
58	55	3

Tableau 4.1 les résultats sur le radiateur plat

Te (°C)	Ts (°C)	ΔT (°C)
79	65	14
76	63	13
72	60	12
69	58	11
66	56	10
62	53	9
60	52	8
57	50	7

Manuel de TP

On propose un TP d'aspect pédagogique résumant les expériences faites sur le banc.

Le but de TP

- Déterminer la puissance des éléments de chauffe et leur coefficient global de transfert de chaleur.
- Déterminer la puissance de la chaudière et calculer son rendement.

Mise en route de l'installation

Voir le paragraphe (3.1).

Essais

Les éléments de chauffe

- Choisir le circuit de la vanne à quatre voies.
- Fermer les vannes sur la conduite de retour de la vanne à trois voies
- Mettre le levier de la vanne à trois voies sur la position 9
- La vanne à quatre voies doit être positionnée de telle manière que l'eau de retour ne se mélange pas avec l'eau d'alimentation des corps de chauffe.
- Choisir l'élément de chauffe pour faire l'expérience ci-dessus en agissant sur sa vanne d'alimentation.
- Relever les températures sur le thermomètre du circuit de la vanne à quatre voies.

La chaudière

- Procéder à la mise en marche de la chaudière
- Consigner la température 90°C sur le régulateur thermostatique.
- Faire circuler l'eau dans 1 ou 2 corps de chauffe uniquement à l'aide des deux pompes, avec toutes les autres vannes ouvertes jusqu'à atteindre la température 70°C
- Fermer les vannes des éléments de chauffe
- Mettre le levier de la vanne à trois voies sur la position 9.
- Lorsque la température de la chaudière approche les 90°C relever les températures sur les deux thermomètres du circuit de la vanne à quatre voies.

Travail demandé

Tracer la courbe $Q=f(T_m)$ pour chaque élément de chauffe et sa courbe $U.A=f(T_m)$.

Calculer la puissance de la chaudière et son rendement.

Comparer les résultats obtenus avec les données du constructeur