

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

12/88

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

2ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT

GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

MISE EN ROUTE DU BANC D'ESSAI
DE CHAUFFAGE CENTRAL
MATLABO

Proposé par : M^r N.D YOUNSI Etudié par : GUETTAB RABAH Dirigé par : M^r N.D YOUNSI

PROMOTION JANVIER 88

E.N.P. 10, Avenue Hacén Badi - El-Harrach - Alger

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قال الله تعالى :
« قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ
يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ . »

وقال رسول الله صلى الله عليه وسلم :
« وَمَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَبْتَغِي فِيهِ عِلْمًا
سَأَلَ اللَّهُ لَهُ طَرِيقًا إِلَى الْجَنَّةِ . »
(رواه مسلم .)

- سبحانه لا علم لنا إلا ما
علمتنا . إنك أنت العليم الحكيم -



الموضوع : عملية اشغال وحدة تدفئة مركزية

الملخص : يتكهن هذا المشروع عملية اشغال وحدة تدفئة

مركزية ذي طابع تربوي

قمنا باجراء دراسة نظرية على استيارات سطوح

التبادل الحراري والمدفئة ودراسة تطبيقية بحسب

عظالتهم ومعامل التبادل الحراري التكم للسطوح و

مردود المدفئة .

في النهاية باقترحنا عمل تطبيقية وانها لدراسنا .

Sujet : Mise en route du banc d'essai de chauffage central ' MATLABO '

Resumé: Ce projet consiste en la mise en route d'une unite de chauffage central à caractere pedgogique.

Nous avons realise sa mise en route ,fait une etude theorique sur les caracteristiques des elements de chauffe et de la chaudiere une etude pratique en mesurant leurs puissances ,le coefficient global de transfert de chaleur des elements de chauffe ainsi que le rendement de la chaudiere.

On a propose à la fin un T.P resumant notre travail.

subject:Central heating unit starting .

Abstract: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 resumng our study.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier très vivement monsieur YOUNSI maître assistant à l'école nationale polytechnique (E.N.P) . pour l'aide précieuse qu'il m'a prodigué tout au long de mon travail et pour les efforts qu'il a déployés durant ce semestre . pour m'avoir assuré un très bon encadrement

Je remercie aussi particulièrement monsieur BOUAMOUD du département de Génie - chimique pour son aide ainsi que tous les professeurs et les personnes qui ont contribué à ma formation . de près ou de loin .

Guettab . R

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, pour leurs grands sacrifices et encouragement qui m'ont permis d'atteindre ce niveau. ainsi qu'à ma chère grand-mère et mes deux frères Khaled et Farid. Sans oublier tous mes Amis et la promotion Janvier 88.

Rabah.

TABLE DES MATIERES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction	1
1 : Le banc d'essai	4
1.1 : Description generale .	4
1.1.1: reseau de tuyauterie	4
1.1.2 : chaudiere	4
1.1.3: brûleur	4
1.1.4: instruments de mesure .	6
1.1.5 : pompes	6
1.1.6 : vannes de melange .	7
1.1.7 : regulateur à contre-courant	7
1.1.8: dispositifs de securite	10
1.1.9: instruments de regulation	11
1.1.10: les elements de chauffe	11
1.1.11: utilisation des elements de chauffe	17
1.1.12: revetement des elements de chauffe	18
1.1.13: Emplacement des elements de chauffe	19
1.1.14 : Puissance nominale des elements de chauffe sur le banc d'essai	19
1.2 : Fonctionnement de l'installation	20
1.2.1 : remplissage de l'installation	20
1.2.2: mise en route du brûleur	22
1.3 : Maintenance du banc .	23

1.3.1: grippage des pompes .	23
1.3.2: blocage du limiteur thermique de securite .	24
1.3.3: pannes du brûleur	25
1.3.4: nettoyage des rotamètres	27
1.3.5: detartrage des surfaces de chauffe .	30
2: Rappels theorique .	31
2.1: Echange de chaleur dans les corps de chauffe	31
2.2: la convection	32
2.2.1: Definition	32
2.2.2: differents modes de convection .	33
2.2.2.1: la convection naturelle ou libre	33
2.2.2.2: la convection forcée	37
2.2.2.3: la convection naturelle et forcée en regime transitoire	38
2.3: Mesure de la puissance des corps de chauffe	39
2.4: calcul du coefficient global de transfert de chaleur des corps de chauffe	41
2.5: la chaudiere .	41
2.5.1: Mesure de la puissance de la chaudiere	41
2.5.1.1: methode directe	41
2.5.1.2: methode indirecte	42
2.5.2: rendement de la chaudiere .	42

3: essais	43
3.1: essais de la puissance et du coefficient global de transfert de chaleur des corps de chauffe	43
3.1.1: essais sur le radiateur en fonte	47
3.1.2: essais sur le radiateur en acier	47
3.1.3: essais sur le radiateur plat	47
3.1.4: essais sur le convecteur	47
3.1.5: conclusion	48
3.2: mesure de la puissance de la chaudiere	58
3.2.1: conclusion	59
3.3: Rendement de la chaudiere	59
3.3.1: conclusion	60
4: Mandat de T.P	62
5: conclusion generale	64
Appendice	
6: proposition d'amélioration d'appareil de mesure de l'installation	66
Bibliographie	

LEGENDE DES SYMBOLES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

A :	surface de l'element de chauffe	m^2
B_v :	debit volumetrique du combustible	m^3/h
B_m :	debit massique du combustible	kg/h
C_p :	capacite calorifique du fluide chauffant	$KJ/kg K$
D :	diametre de la conduite	m
g :	acceleration de la pesanteur.	m/s^2
h_c :	coefficient d'echange de chaleur par convection	W/m^2C
h_i :	coefficient d'echange de chaleur par convection interne.	W/m^2C
h_e :	coefficient d'echange de chaleur par convection externe.	W/m^2C
L :	longueur	m
\dot{m} :	debit massique du fluide	kg/h
Q, Q_i :	puissance calorifique	KW
Q_p :	pertes calorifiques	KW
T_{1e} :	temperature du fluide chauffant à l'entrée de l'échangeur de chaleur	K
T_{1s} :	temperature du fluide chauffant à la sortie de l'échangeur de chaleur.	K
T_{2e} :	temperature 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_o : 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/m²C
- ΔH_i : pouvoir calorifique inférieur du combustible Kcal/kg
- $\Delta \bar{i}$: écart de température entre l'entrée et la sortie de l'échangeur de chaleur. K
- ΔT_{PF} : écart de température entre la paroi de l'échangeur de chaleur et l'ambiance K
- ΔT_i : écart entre la température moyenne du fluide chauffant et la température ambiante. K
- W : vitesse moyenne du fluide m/s
- λ_p : coefficient de conductibilité W/m C
- μ : viscosité dynamique kg / m . s
- β : coefficient de dilatation thermique du fluide 1/K

μ_{fl} : viscosité dynamique à la température moyenne du fluide



μ_w : viscosité dynamique à la température de la paroi.

ν : viscosité cinématique.

η_{ch} : rendement de la chaudière

Pr : nombre de Prandtl.

Re : nombre de Reynolds.

Nu : nombre de Nusselt.

Gr : nombre de Grashof.

kg/m.s

m²/s

TABLE DE FIGURES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

- Figure du bruleur	5
- Figure de la vanne à quatre voies	8
- Figure de la vanne à trois voies	9
- Figure de l'installation	12
- Figure du tableau de commande	15
- Figure du double thermostat	26
- Figure illustrant la convection naturelle sur une plaque verticale	36
- Figure du branchement des thermocouples	67

TABLE DES GRAPHES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

- graphe de la distribution des vitesses
et des températures horizontalement à
une plaque verticale chauffée 35
- graphe d'échelonnement du débit-mètre (200-2500) l/h 45
- graphe d'échelonnement du débit-mètre (100-1000) l/h 46
- graphe $Q = f(\bar{T}_m)$ des radiateurs en fonte et en
Acier 53
- graphe $Q_i = f(\bar{T}_m)$ des radiateurs en fonte et en Acier 54
- graphe $Q = f(\bar{T}_m)$ du convecteur et du radiateur plat 55
- graphe $U.A = f(\bar{T}_m)$ des radiateurs en fonte et en Acier 56
- graphe $U.A = f(\bar{T}_m)$ du convecteur et du radiateur plat. 57

INTRODUCTION

Les dispositions prises en chauffage visent dans la plupart des cas à créer dans les locaux de séjour, où les hommes cherchent refuge contre les conditions météorologiques extérieures un climat qui correspond dans une grande mesure aux besoins physiologiques en chaleur du corps humain en bonne santé.

Les éléments déterminants de l'effet complexe du climat d'un local sont, la température de l'air du local et des surfaces environnantes, l'humidité et les vitesses de déplacement de cet air, donc la plus importante condition est d'assurer le confort thermique.

Lorsque la chaleur nécessaire au chauffage de plusieurs pièces est produite en un seul endroit et distribuée dans celles-ci par l'intermédiaire d'un véhicule de chaleur on se trouve en présence d'un chauffage central.

Grâce aux progrès technologiques on remarque la généralisation du chauffage central comme moyen de chauffage pour les habitations à caractère collectif (bâtiment, école,). On distingue suivant la nature du véhicule de chaleur, les chauffages à eau chaude, à vapeur ou à air chaud, les systèmes les plus courants pour le chauffage d'immeubles sont les chauffages à eau chaude (à des températures de départ de la chaudière allant

jusqu'à 100 °C) et les chauffages à vapeur basse pression (inférieur ou égale à 0,5 bar).

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 le réglage sont simplifiés, la plupart du temps l'efficacité se trouve améliorée.

D'autres avantages du chauffage central résident dans le fait que les corps de chauffe sont moins encombrants et qu'il devient possible de chauffer également outre les pièces principales les pièces secondaires, les escaliers et les salles de bain...

Notre étude s'effectue sur le banc d'essai de chauffage central "MATLABO" à l'intérieur du laboratoire "chauffage central et unité héliotechnique". Ce banc d'essai a été conçu avec des éléments utilisés 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.

Le but de notre étude est la mise en route du banc et la vérification du bon fonctionnement de ses éléments, puis la détermination des caractéristiques des différents éléments de chauffe, des vannes de mélange et de

la chaudière, et rédiger un manuel de travaux pratiques ³
illustrant certaines expériences à faire sur le banc.

1. LE BANC D'ESSAI

4

1.1: Description generale.

1.1.1: reseau de tuyauterie.

On a sur l'installation un reseau de tuyauterie pour la circulation de l'eau de chauffage, Formé de :

- deux (2) circuits d'alimentation - de couleur rouge sur le banc .
- deux (2) circuits de retour - de couleur bleu sur le banc .

1.1.2: chaudiere

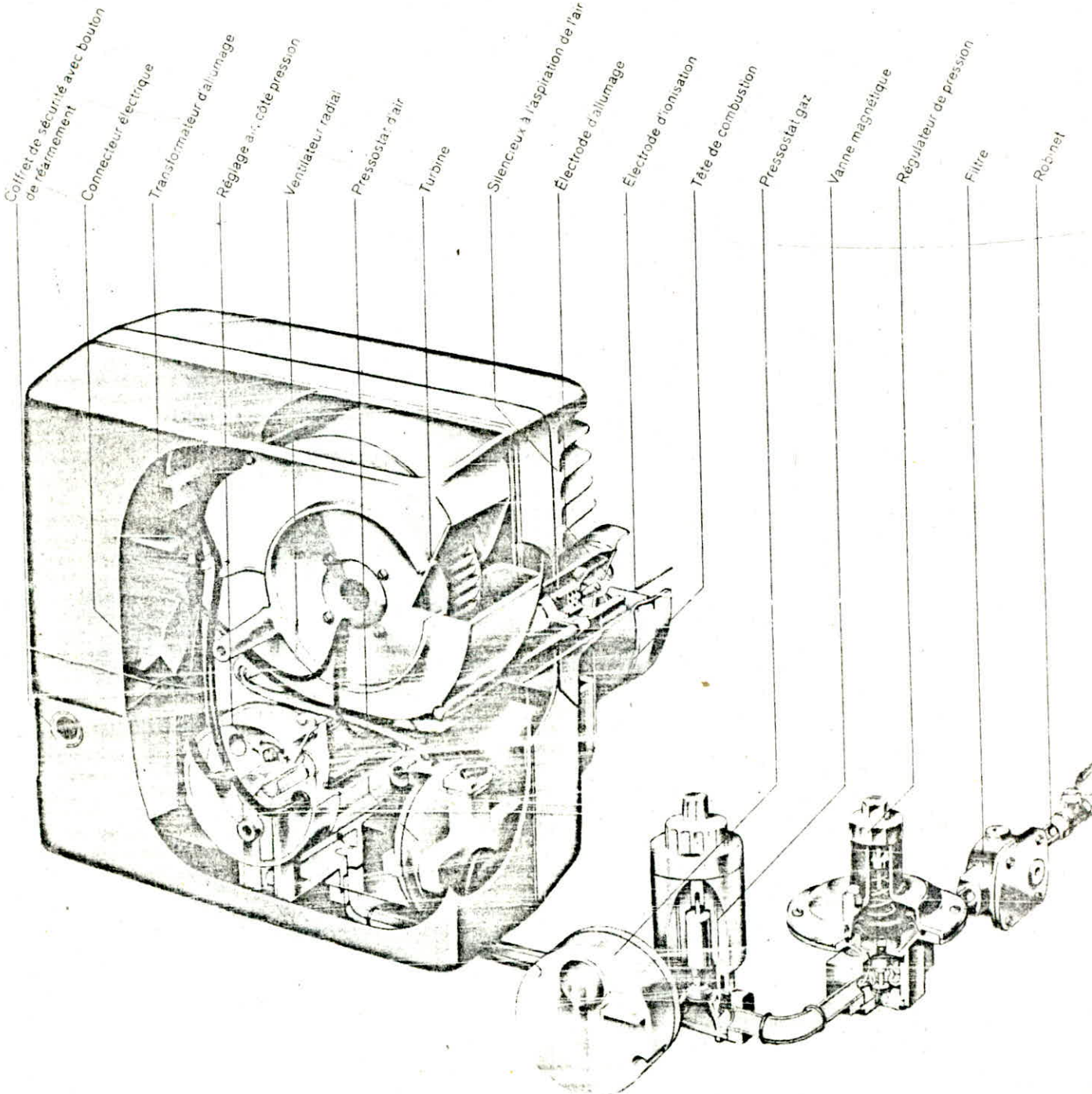
l'installation est dotée d'une chaudiere Buderus "logana" 02 type logana PG.02.W à gaz ou à mazout. il y a aussi possibilite d'amenager la chaudiere en vue d'un fonctionnement à combustible solide, sa capacite calorifique est 17000-21000 kcal/h avec passage mazout gaz.

Elle est equipée d'un double thermostat (regulateur et limiteur thermique de securite.), le regulateur peut-etre réglé à la valeur desirée le champs de réglage, du limiteur thermique prevoit un maximum de 95°C

1.1.3: brûleur.

La chaudiere est equipée d'un brûleur Weishaupt type WL 2/2 modele standard ayant une charge de 1,8 - 8 kg/h pour un fonctionnement au mazout.

brûleurs à gaz Weishaupt WG



1.1.4 : instruments de mesure.

L'installation est équipée de :

- quatre (4) manomètres différentiels places en amont et en aval de chaque pompes.
- deux rotamètres, un ayant une plage de mesure comprise entre 200 - 2500 l/h, et qui est place dans le circuit de retour en amont de la vanne à quatre (4) voies et indique la quantité d'eau totale circulant dans l'installation, un autre, ayant une plage de mesure de 100 - 1000 l/h qui est place dans le circuit de retour en amont du mélangeur à trois (3) voies et qui indique la quantité d'eau supplémentaire circulant en circuit fermé dans les éléments de chauffe.
- cinq (5) thermomètres à cadran, fonctionnant sous l'effet de la dilatation thermique.
- sur la chaudière, un thermomètre à mercure indique la température de l'eau à la sortie, Un manomètre à cadran donne la pression à l'intérieur de la chaudière.

1.1.5 : 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

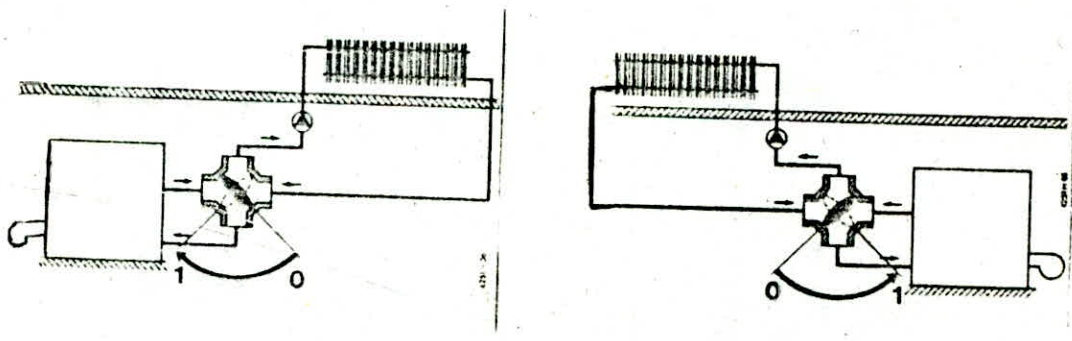
1.1.6 : vannes de mélange .

l'installation est dotée de deux vannes de mélange - vanne de mélange à quatre voies. elle a pour fonction de régler la fraction du débit traversant les éléments de chauffe. qui sera recycle dans la chaudière, on peut la manoeuvrer manuellement ou à l'aide du servo-moteur relié à la centrale de régulation. suivant la position d'un papillon dans le corps du mélangeur, on change la valeur du débit de mélange, faisant varier la température de l'eau de chauffage à l'entrée des éléments de chauffe. - 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 recyclée.

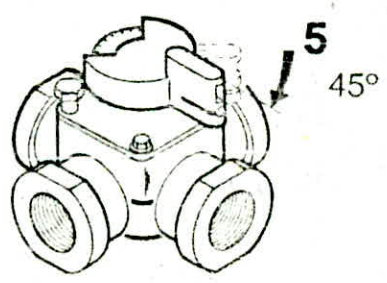
1.1.7 : régulateur à contre-courant.

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 30 000 kcal/h.

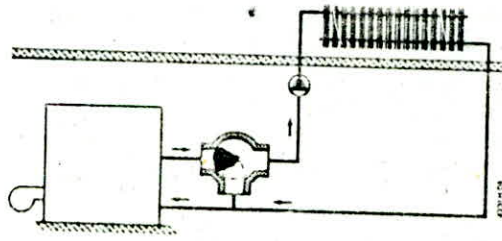
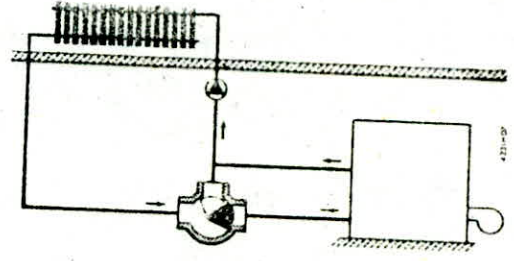
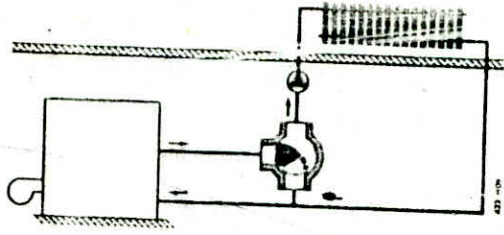
Celui-ci est équipé d'un compteur d'eau et de deux thermomètres installés sur les conduites d'eau froide, et d'eau chaude.



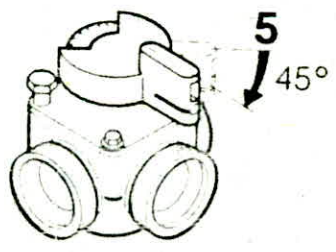
Different mode de disposition de la vanne à quatre voies dans le circuit de chauffe



vanne à quatre voies



Differents mode de disposition de la vanne à trois voies dans le circuit de chauffe .



vanne à trois voies

1.1.8: dispositifs de securite

l'installation est dotée de plusieurs dispositifs de securite afin de prevenir tout incident qui peut survenir au cours des manipulations.

comme dispositifs de securite on a :

- une soupape de securite, tare à 1,2 bars, située sur la conduite de sortie de la chaudiere.
- Deux purgeurs placés sur les points hauts des conduites d'amenée et de retour.
- une vanne de reglage sur chaque element de chauffe celle sur le radiateur en fonte et le convecteur sont gradués de 1 à 5.
- un vase d'expansion fermé (à membrane) son rôle est d'absorber l'augmentation du volume d'eau due à l'effet de la dilatation du circuit de chauffage (l'eau).

le vase de forme cylindrique en acier est separé en deux parties par une membrane en caoutchouc, placée à mi-hauteur, l'une communique avec le volume d'eau de la chaudiere par le tube de surete sans interposition d'aucune vanne, l'autre est remplie de gaz inerte, par exemple de l'azote, la dilatation de l'eau se propage dans le matelas d'azote avec l'augmentation de pression correspondante, le vase sur notre banc a une capacite de huit litres, avec une pression

d'alimentation de 0,5 bar

- vase d'expansion ouvert utilisé dans le cas ou on travaille en circuit ouvert, de forme cylindrique en tôle d'acier. il est relie à l'installation par des conduites munies de vanne d'isolation.

1.1.9 : instruments de regulation.

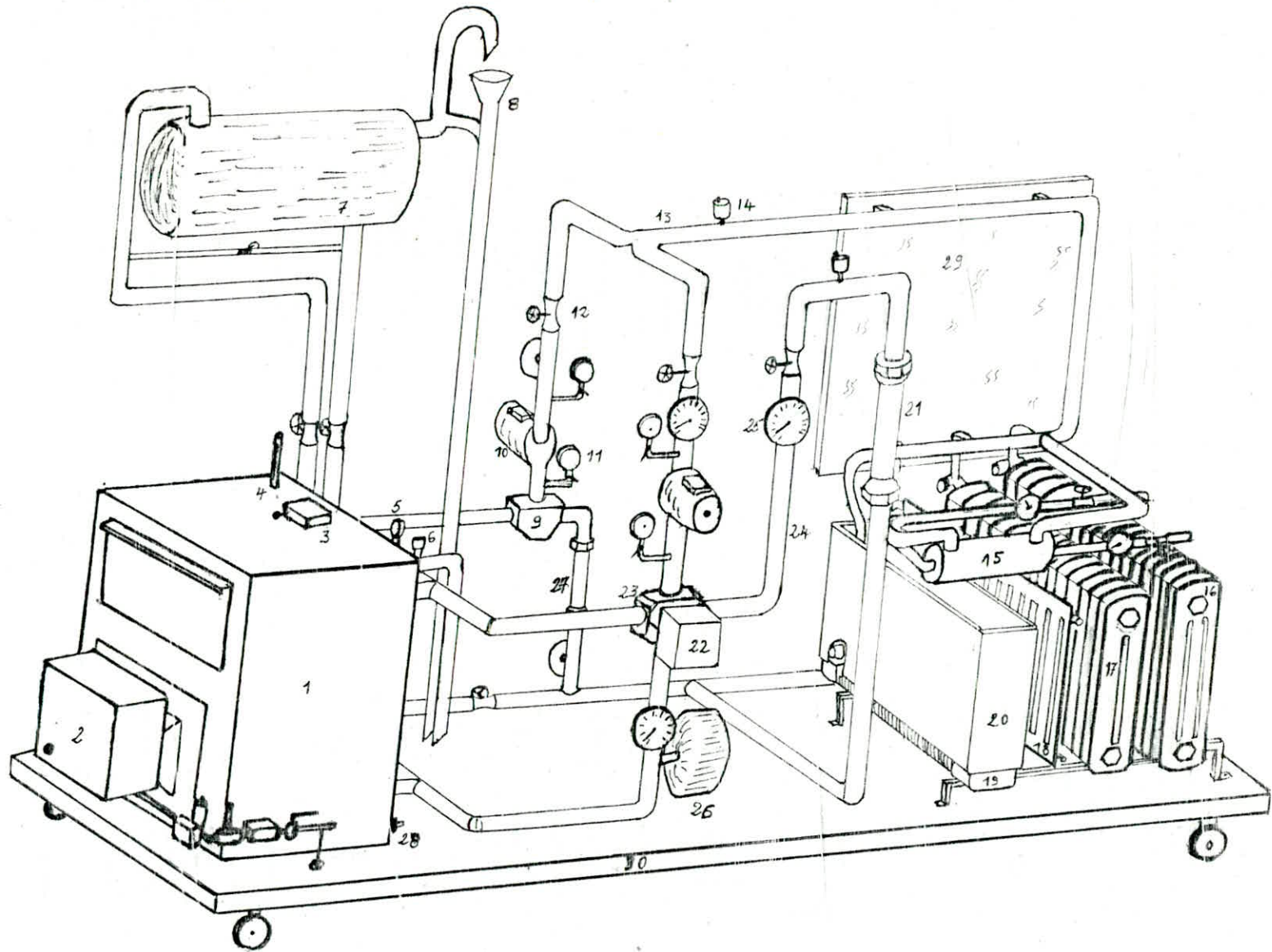
l'installation est équipée d'une centrale de regulation composée :

- d'un regulateur avec selecteur de programme et horloge pour le controle de la temperature de l'eau de chauffage en fonction des conditions atmospherique.
- deux selecteurs de temperature, faisant office de potentiometre, un pour simuler la temperature exterieure, l'autre pour simuler la temperature de l'eau de chauffage.
- selecteur de reglage à distance du selecteur de temperature.
- un servo-moteur pour actionner la vanne à quatre voies.

1.1.10 : les elements de chauffe.

les geometries des elements de chauffe et leur constituants sont tres variables, selon le type. on a :

- Les radiateurs qui sont des corps de chauffe à eau chaude et à vapeur les plus utilisés dans le



: schema de l'installation :

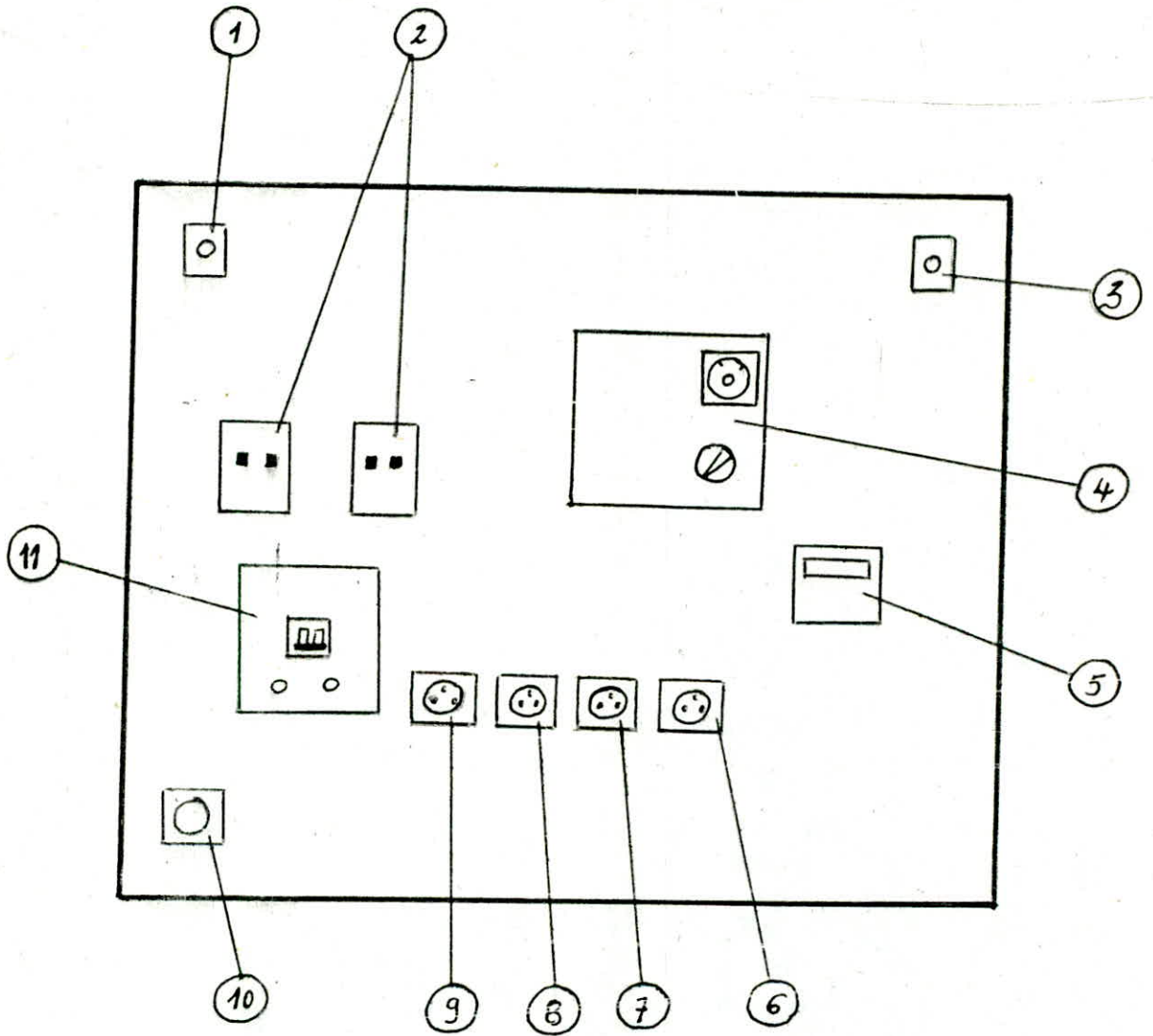


tableau de commande de
l'installation

domaine du chauffage. Un appareil est constitué d'éléments identiques assemblés les uns aux autres, permettant ainsi un contrôle sur la puissance et réduisant les coûts et le temps de fabrication.

les éléments moulés sont solidement assemblés entre eux au moyen de nipples coniques ou filetés pour les radiateurs en fonte. Pour les radiateurs en acier les éléments sont réalisés par emboutissage et assemblés par soudure.

Depuis ces deux dernières décennies, les constructeurs se sont mis d'accord pour une standardisation des formes d'exécution qui a eu pour résultats une normalisation des dimensions qui a maintenant rendu interchangeable des matériels fabriqués par les différents constructeurs.

- les convecteurs sont des corps de chauffe en tuyaux à ailettes déposés dans des niches ou dans des habillages spéciaux, les tubes sont de section différentes -circulaire, elliptique ou en goutte d'eau. Comme matière on utilise de l'acier galvanisé ou du laiton pour les tubes et de l'aluminium pour les ailettes.

1.1.11 : 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 possèdent une grande inertie

thermique, conviennent également bien pour les chauffages à vapeur et à eau chaude, par contre les radiateurs en acier conviennent seulement à l'eau chaude par suite de leur moindre résistance à la corrosion.

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, il est rapidement en température. il résiste mieux au gelé mais sa 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 préconisent plus spécialement pour équiper les locaux dont la durée d'occupation, et par suite le chauffage, sont courts.

1.1.12 : Revêtement des éléments de chauffe.

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 leur niche 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 speciaux assurent même le controle de la puissance par l'intermediaire d'elements amovibles.

Pour les peintures, les radiateurs à eau chaude et à vapeur basse-pression sont livrés avec une premiere couche de peinture anti-rouille dont la nature doit s'accorder avec la peinture definitive si l'on veut éviter l'ecaillage de cette dernière. pour les convecteurs per-contre, seulement l'habillage qui est peint generalement.

1.1.13 : Emplacement des elements de chauffe.

lors du placement des elements de chauffe, il faut veiller à ce qu'aucun obstacle ne s'oppose aux mouvements de convection et de rayonnement, la partie inferieure des elements de chauffe doit être à sept (7) cm au moins au dessous du sol et à quatre (4) cm du mur, ces valeurs representent les abscisses des maximums de la Fonction des vitesses d'écoulement de l'air ascendant le long de l'element de chauffe en fonction de la distance à cet element. (voir page-35 -)

1.1.14 : Puissance nominale des elements de chauffe sur le banc d'essai

sur notre banc d'essai on a :

- un radiateur en fonte, norme DIN 4720, de puissance

calorifique $810 \text{ kcal/h} = 940,5 \text{ W}$ conforme à la norme DIN 4703.

- un radiateur en acier, de puissance calorifique $630 \text{ kcal/h} = 731,5 \text{ W}$ conforme à la norme DIN 4703
- un radiateur plat monostat, 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 du type non normalisé

1.2: Fonctionnement de l'installation

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

12.1: 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 de retour et de sécurité - les purgeurs placés dans les points hauts des conduits 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 si on veut travailler sous pression.

la pression maximale de fonctionnement du banc est de 1,5 bar.

- Fermer la vanne d'alimentation lorsque la pression de fonctionnement voulue est atteinte

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 maximale pendant une demi-heure avec des arrêts de 1 à 3 minutes après 10 minutes de fonctionnement de telle manière à purger l'air qui se trouve dans les conduites et les surfaces de chauffe.

cette opération terminée, fermer les purgeurs.

1.2.2: mise en route du brûleur.

- 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.
 - rearmement le brûleur. - si le voyant rouge sur le brûleur s'allume, rearmement 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 du 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 deconnecter la fiche du bruleur sur le tableau de commande.
- choisir le circuit de passage d'eau en agissant sur les vannes qui sont places sur les conduites, surfaces de chauffe et regulateur à contre-courant suivant le type d'experience qu'on veut realiser.

1.3 : maintenance du banc.

pendant nos essais sur le banc on a mis en evidence certaines pannes qui peuvent survenir avant ou au cours des manipulations. D'où le but de ce paragraphe concernant les reparations necessaires :

1.3.1 : grippage des pompes :

sa mise en evidence se fait apres leurs mise en marche, on remarque que les rotametres indiquent un debit nul et les moteurs des pompes commencent à chauffer - il faut verifier que toutes les vannes du circuit d'alimentation des elements de chauffe sont ouvertes.

pour la reparation on procede comme suit :

- couper l'alimentation electrique du banc
- videnger l'installation par la vanne d'alimentation
- à l'aide d'une clé alène de six (6) deviser les deux (2) vis qui tiennent la pompe à la conduite
- faire sortir la pompe de son logement.

- degripper le rotor de l'helice en la faisant tourner dans un sens puis dans l'autre avec la main
- remonter la pompe en procedant aux operations déjà faites dans le sens inverse, serrer les vis de la pompe alternativement pour ne pas detruire leur filtage et pour avoir une bonne etancheite.
- alimenter l'installation en electricite et verifier que les pompes fonctionnent normalement.

1.3.2: blocage du limiteur thermique de securite.

lorsque la temperature de l'eau de la chaudiere depasse les 95°C le limiteur de securite ouvre le circuit electrique d'alimentation du bruleur par l'effet de dilatation thermique d'une lame de la forme d'une assiette. on met en evidence cette panne lors du rearmement du bruleur ou normalement on a le bouton-voiant qui devrait s'allumer on appuyant dessus.

pour la reparation necessaire à apporter on procede comme suit :

- couper l'alimentation electrique du banc
- devisser la vis rouge en plastique sur la face superieure du thermostat qui est sur la chaudiere
- introduire une allumette et appuyer la lame

vers le bas jusqu'à entendre un clic de telle manière que la lame soit enclenchée vers le bas

- Fermer la vis
- procéder à la mise en marche du brûleur si l'essai est négatif une vérification interne du thermostat est nécessaire.
- enlever le couvercle du thermostat en dévissant le vis sur sa face de derrière et procéder à l'aide de l'ohm-mètre 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 limiteur de sécurité

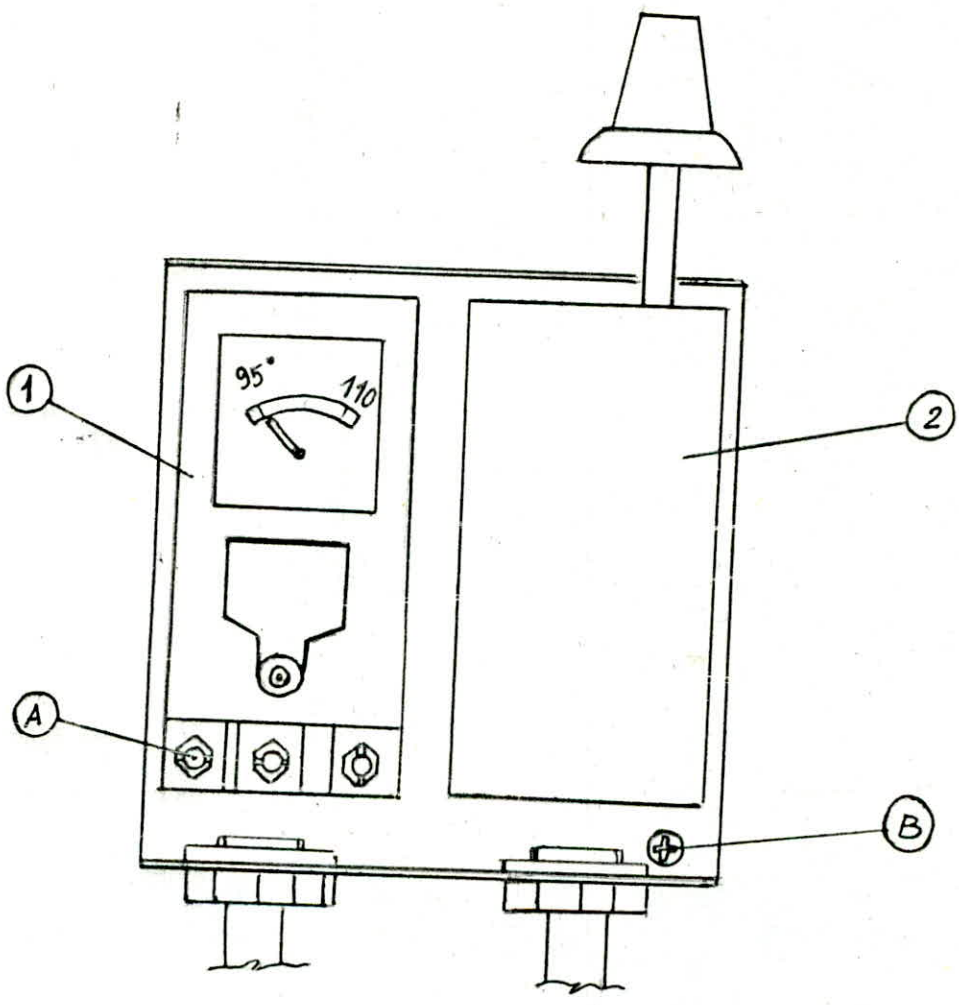
- rétablir le courant et refaire une autre vérification avec l'ohm-mètre des points (A, B) pour vérifier si le courant est établi. (voir schéma page 26.)

1.3.3: pannes du brûleur

les pannes qui caractérisent spécialement le brûleur pendant sa mise en route ou pendant la marche normale ont été mises sous forme d'organigramme.

voir page - 28 -

pour faciliter la détection de ces pannes le



1: limiteur thermique
de securite

2: regulateur de temperature

verification du circuit electrique
du limiteur thermique
de securite

servo-moteur du brûleur 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 réparations qu'il faut apporter qui est indiqué dans l'organigramme voir page 29

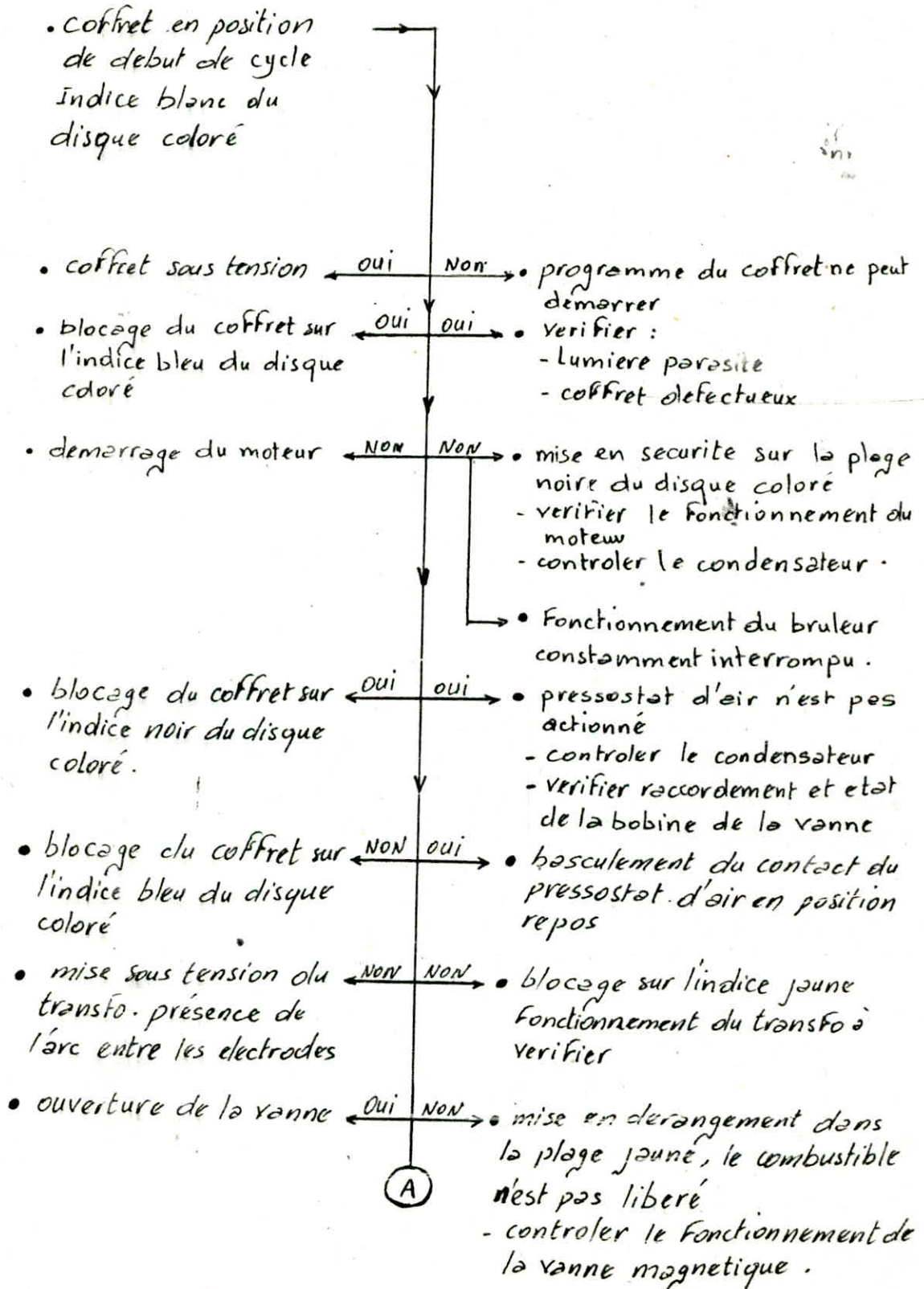
1.3.4 : nettoyage des rotamètres.

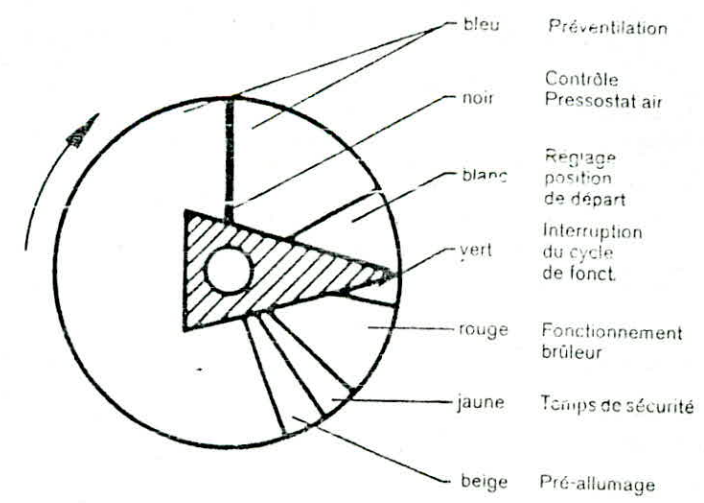
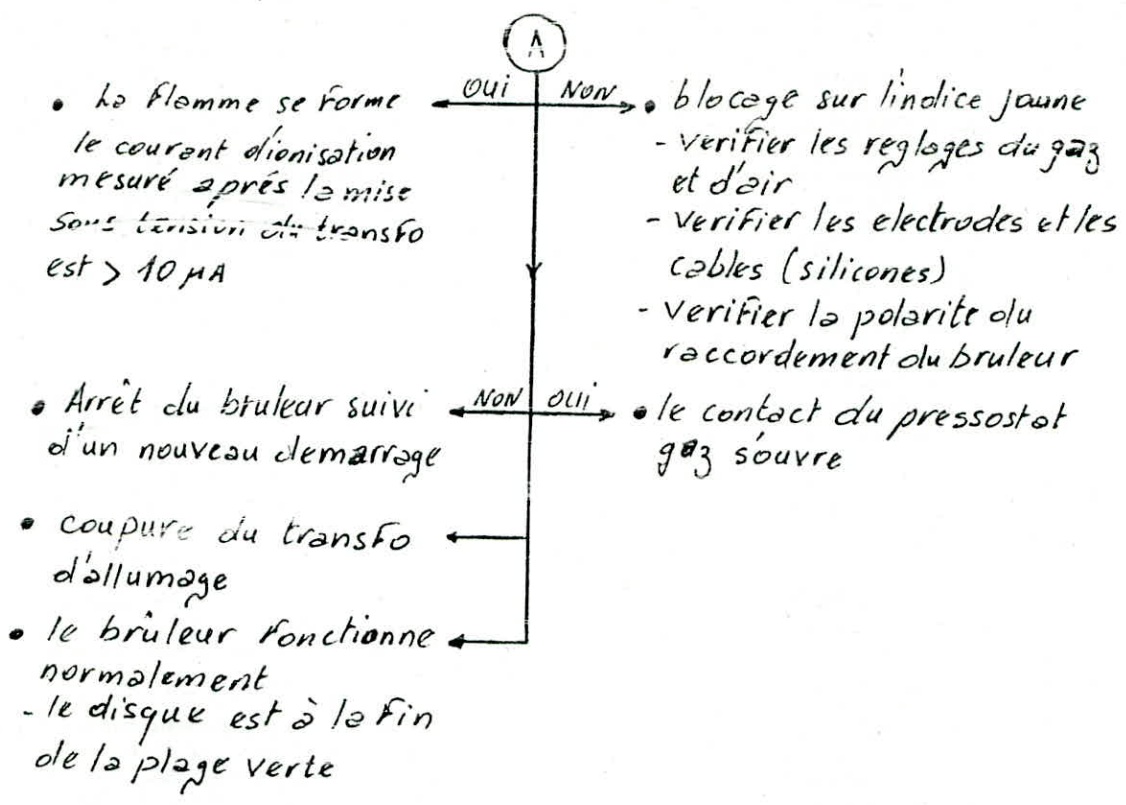
le problème qu'on peut rencontrer avec les rotamètres c'est le calcaire contenu dans l'eau de chauffage qui donne une couleur brunâtre aux corps des rotamètres empêchant ainsi de faire la lecture du débit lors de la manipulation.

Pour le nettoyage des rotamètres on procède comme suit :

- Faire la vidange de l'installation
- avec une clé anglaise dévisser les deux (2) écrous de chaque rotamètres.
- faire sortir le rotamètre de son logement, enlever les deux (2) limitateurs de course en plastique et le flotteur
- laver le corps du rotamètre avec une brosse
- remonter chaque rotamètres dans son logement.
Faire attention aux joints thorique qui se

Organigramme pour la maintenance du bruleur.





4

le disque indicateur de derangement.

trouvent sur les rotamètres .

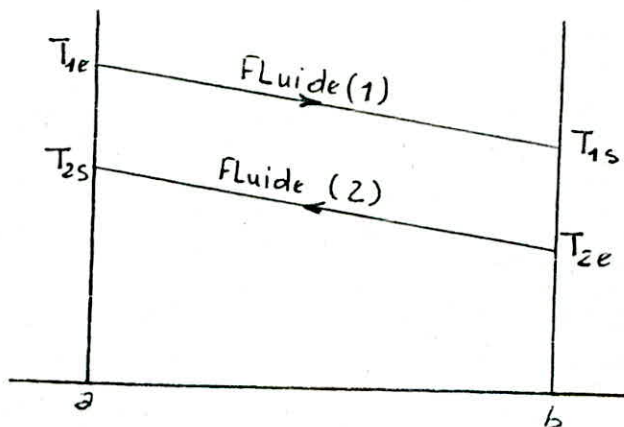
1.3.5 : Detartrage des surfaces de chauffe.

si le detartrage des surfaces de chauffe s'avère nécessaire on procede alors comme suit :

- vidanger l'installation
- introduire le liquide detartrant.
- remplir l'installation en eau .
- faire tourner les pompes pendant deux heures avec des intervalles d'arrêt de 10 minutes et des periodes de fonctionnement de 15 minutes .
- vidanger l'installation apres la periode 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 .

2 : RAPPELS THEORIQUE

2.1: Echange de chaleur dans les corps de chauffe
 les corps de chauffe sont des échangeurs dans lesquels les écoulements des deux fluides sont arrangés en courants - croisés .



le flux cédé par l'eau s'écoulant à l'intérieur du corps de chauffe . s'écrit

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

le flux échangé entre les deux fluides peut s'écrire en fonction du coefficient de transfert globale .

$$Q = U A \Delta T_{Lm} \quad (2)$$

ΔT_{Lm} : l'écart logarithmique moyen des températures d'entrée et de sortie donnée par la relation de Grashof .

$$\Delta T_{Lm} = \frac{(T_{1e} - T_{2s}) - (T_{1s} - T_{2e})}{\ln \frac{T_{1e} - T_{2s}}{T_{1s} - T_{2e}}} \quad (3)$$

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.

De nombreuses mesures ont été faites sur des radiateurs Allmonds normalisés pour le calcul de leur puissance où l'écart logarithmique moyen est exprimé par la relation suivante :

$$\Delta T_{Lm} = \frac{(T_{1e} - T_i) - (T_{1s} - T_i)}{\ln \frac{T_{1e} - T_i}{T_{1s} - T_i}} \quad (4)$$

Dans le cas où le rapport $\frac{T_{1s} - T_i}{T_{1e} - T_i}$ est supérieur à 0,7 l'écart logarithmique moyen $\frac{T_{1e} - T_i}{T_{1e} - T_i}$ des températures peut être assimilé à la moyenne arithmétique des températures d'entrée et de sortie . (voir le RIETSCHEL)

$$\Delta T_{Lm} = \Delta T_{MA} = \frac{T_{1e} + T_{1s}}{2} - T_i \quad (5)$$

2.2 : la convection

2.2.1 : définition .

La convection est un mode de transfert de chaleur par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et du mouvement des couches fluides .

33

En présence d'une surface à température plus élevée que celle d'un fluide qui l'entoure on a alors un écoulement de chaleur de la plaque vers le fluide qui s'effectue de la manière suivante :

- Écoulement de chaleur par conduction de la surface aux particules fluide en contact avec elles, l'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température et l'énergie interne de ces particules fluides.
- Écoulement fluide et énergie par le mélange des particules fluides avec d'autres à de plus basse température engendre le transfert d'une part de l'énergie interne donnant ainsi naissance à un mouvement de transfert d'énergie entre les particules.

2.2.2: différents modes de convection.

on distingue deux types de convection :

2.2.2.1: la convection naturelle ou libre

elle est due aux différences de densité, résultats des gradients de température. la quantité de chaleur cédée par une surface à un fluide par convection naturelle peut être évaluée par la relation:

$$Q = h_c \cdot A \cdot \Delta T_{PF} \quad (6)$$

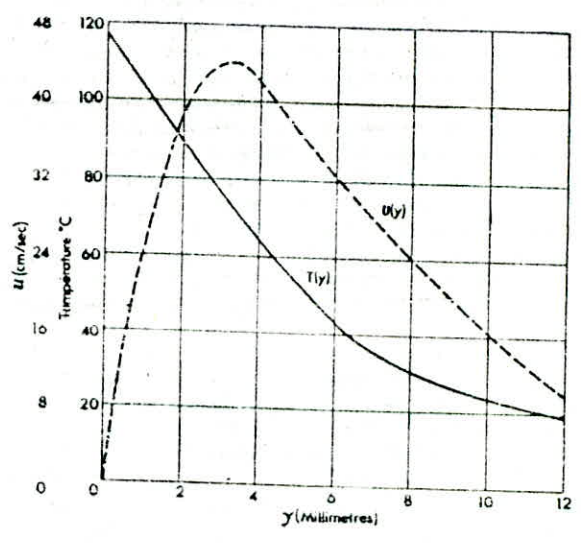
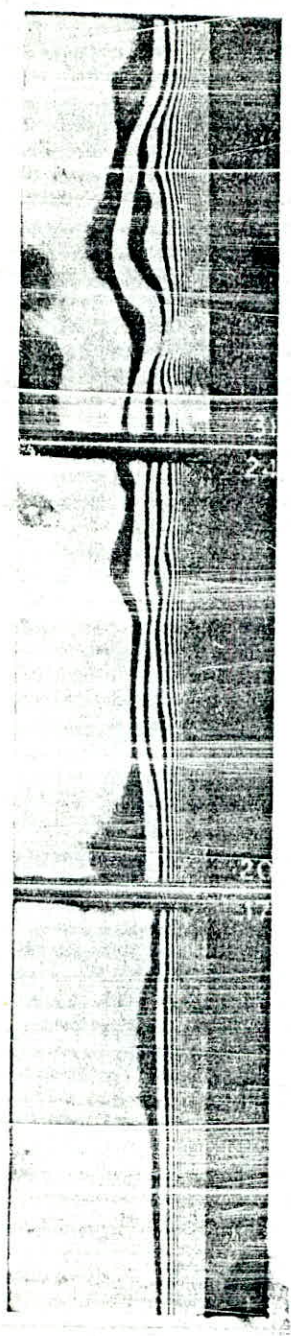
ΔT_{PF} : différence de température entre la paroi et le fluide (T_{fluide} est prise loin de la paroi).

sous cette forme l'équation de la convection semble tout à fait simple, en réalité il n'en est rien, car l'équation de la convection est une définition de la conductance thermique moyenne plutôt qu'une loi de transmission de chaleur par convection. Le coefficient d'échange de chaleur par convection est une fonction complexe de l'écoulement du fluide, des propriétés thermiques du milieu fluide et de la géométrie du système.

Des relations mathématiques et expérimentales ont été proposées pour le calcul du coefficient d'échange de chaleur - h_c - en fonction de nombres adimensionnels (Nombre de Reynolds, Nusselt, Grashof et de Prandtl, ...) pour des corps de différentes formes et différents régimes d'écoulement.

Dans leur travaux Eckert et Soehnghen ont obtenu des photographies par interférométrie optique qui illustrent le phénomène de convection naturelle sur des plaques planes et des cylindres verticaux, ils ont observé que l'écoulement est laminaire pour les 50 premiers centimètres à partir du bas ensuite transitoire puis turbulent. voir page-35.

Des formules ont été posées dans le cas des régimes laminaire et turbulent pour le calcul du coefficient d'échange de chaleur pour des plaques et des cylindres



Distributions des temperatures et des vitesses au voisinage d'une plaque chauffée placée verticalement dans une atmosphère au repos.

photographie d'interference illustrent l'écoulement laminaire et turbulent en convection naturelle de l'air le long d'une plaque plane verticale

verticaux

- pour le regime laminaire.

$$10^3 < Pr \cdot Gr < 10^8$$

$$Nu = \frac{h L}{\lambda_f} = 0,555 [Pr \cdot Gr]^{1/4} \tag{7}$$

avec $Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda}$ (8)

$$Gr = g \cdot \frac{\beta [T_0 - T_i] L^3}{\nu^2} \tag{9}$$

- pour le regime turbulent

$$Gr \cdot Pr > 10^9$$

$$Nu = \frac{h L}{\lambda_f} = 0,17 [Gr \cdot Pr]^{1/3} \tag{10}$$

Pour la transmission de chaleur à partir de tuyaux horizontaux dans l'air, les grandeurs relatives à ce cas sont calculables par l'equation sans dimension suivante :

$$Nu = \frac{h D_{ext}}{\lambda_f} = 0,53 [Pr \cdot Gr]^{1/4} \tag{11}$$

elle est valable dans le cas où on a :

$$10^3 < Gr \cdot Pr < 10^8$$

On peut se servir d'equation dimensionnelle

simplifiée déduisent de l'équation (11), dans le cas de
le cas de l'air à température ordinaire et sous
pression atmosphérique normale.

- pour le régime turbulent

$$Gr \cdot Pr > 10^9$$

$$h_c = 1,05 [T_o - T_i]^{1/3} \quad (12)$$

- pour le régime laminaire le cas rencontre
habituellement dans les conduites.

$$10^7 < Gr \cdot Pr < 10^8$$

$$h_c = 1,14 [(T_o - T_i)/D_c]^{1/4} \quad (13)$$

2.2.2.2 convection forcée

pour la convection forcée notre étude se
limitera aux écoulements à l'intérieur des tubes seulement
pour le calcul du coefficient de transmission de chaleur
nous avons les relations suivantes :

- pour le régime laminaire

Hausen a mis au point l'équation de Gratz et
Nusselt en utilisant les résultats de Sieder et Tate

$$Nu = \frac{h_c D}{\lambda_f} = \left[3,65 + \frac{0,0668 Re Pr (d/L)}{1 + 0,045 [Re Pr (d/L)]^{2/3}} \right] \left(\frac{\mu_{f_w}}{\mu_{f_b}} \right)^{0,14} \quad (14)$$

avec : $Re = \frac{w \times L}{\nu}$ (15)

- pour le régime turbulent

Kraussold a développé l'équation mise par Heusen sous la forme suivante :

$$Nu = \frac{h_c d'}{\lambda_f} = 0,024 [1 + (L/d)^{-2/3}]^{0,8} Re^{0,33} Pr^{0,14} \quad (16)$$

Elle est utilisable dans le domaine où

$$7 \cdot 10^3 < Re < 10^6$$

$$1 < Pr < 500$$

$$L/d \geq 1$$

Dans la pratique où les valeurs de L/d sont comprises entre 100 et 400, dans le cas de tuyauteries parcourues par de l'eau chaude et placées dans l'ambiance de la pièce - c'est-à-dire avec une différence de température négligeable entre le centre de la conduite et sa paroi - on a l'équation citée plus haut qui se simplifie, on a alors

$$Nu = \frac{h_c d'}{\lambda_f} = 0,024 Re^{0,8} Pr^{0,33} [1 + (L/d)^{-2/3}] \quad (17)$$

2.2.2.3. la convection naturelle et forcée en régime transitoire.

pour ce cas d'écoulement - $2100 < Re < 10^4$ -

les mécanismes de transmission de la chaleur et

d'écoulement d'un fluide varie d'une façon importante d'un système à l'autre. Dans ce cas, l'écoulement peut être instable et peut présenter des fluctuations dans la transmission de chaleur et dans la chute de pression. L'efficacité de la transmission de chaleur et la perte de charge sont entachées d'une grande incertitude, par conséquent il est conseillé, lors des expériences sur des bancs d'essai d'éviter autant que possible, d'opérer dans cette région pour évaluer le nombre de Nusselt.

2.3 : Mesure de la puissance des corps de chauffe.

La puissance des corps de chauffe est déterminée dans des chambres aménagées spécialement à cet effet. Leurs murs avec un pouvoir d'absorption assez élevé, absorbent la chaleur dégagée par les corps de chauffe permettant ainsi de garder la température ambiante du local constante et de ne pas fausser les résultats d'essais.

pour mesurer cette puissance, on doit mesurer la quantité de fluide chaud s'écoulent par unité de temps à travers le corps de chauffe et sa température à l'entrée et à la sortie. on a

$$Q = \dot{m} c_p (T_e - T_s) \quad (18)$$

Dans le RIETSCHEL une relation a été proposée pour le tracé de la courbe caractéristique de puissance des éléments de chauffe normalisés. dans cette relation on a la puissance du corps de chauffe qu'est une fonction exponentielle de variable T_m (température moyenne du fluide chauffant) et d'exposant m dépendant de la forme géométrique et du types de corps de chauffe on a donc

$$Q = Q_n \left(\frac{\Delta T}{\Delta T_n} \right)^m = Q_n \left(\frac{T_m - T_i}{(T_m - T_i)_n} \right)^m \quad (19)$$

où

Q_n = puissance calorifique définie par les normes.

ΔT_n = écart de température $(T_m - T_i)$ correspondant aux conditions définies par les normes.

D'après les essais effectués, l'exposant m pour des valeurs moyennes de température d'eau chaude comprises entre 40° et 100° C a des valeurs suivantes :

- radiateurs (corps de chauffe à élément et corps de chauffe plat) $m = 4/3$
- corps de chauffe tubulaires de tout genres (y compris tuyaux à ailettes) $m = 1,25$
- convecteurs suivant construction et habillage $m = 1,25 \text{ à } 1,45$

2-4 : calcul du coefficient global de transfert de chaleur des corps de chauffe.

le coefficient global de transfert de chaleur U se deduit en faisant l'egalite entre les equations (1) et (2) on a :

$$U = \frac{\dot{m} C_p}{A} \cdot \frac{(T_{1e} - T_{1s})}{\Delta T_{lm}} \quad (20)$$

2-5 : la chaudiere :

la puissance d'une chaudiere varie enormement en fonction des conditions d'utilisation. Les chaudierees sont generalement designees par leurs puissances nominales correspondant a des conditions standard fixees par les normes. La temperature du fluide chauffant est selon ces normes de 70° a l'entree dans la chaudiere et 90° a sa sortie.

2-5.1 : Mesure de la puissance de la chaudiere.

la puissance d'une chaudiere peut etre mesuree de deux manieres differentes qui sont les suivantes :

2.5.1.1 : methode directe

la puissance est determinee directement a la chaudiere en mesurant l'augmentation d'enthalpie du fluide qui la traverse (eau ou vapeur).

$$Q_n = \dot{m} c_p \Delta T = \dot{m} c_p (T_{sch} - T_{ech}) \quad (21)$$

2.5.1.2: Methode indirecte.

la puissance est determinée indirectement en mesurant la chaleur fournie à l'eau dans un échangeur de chaleur. dans ce cas il faut determiner avec soin les pertes calorifiques des tuyauteries de liaison entre la chaudiere et celles de l'échangeur lui même.

$$Q_n = \dot{m} c_p (T_{ts} - T_{te}) + Q_p \quad (22)$$

2.5.2: Rendement de la chaudiere.

le rendement de la chaudiere est calculé par la relation suivante:

$$\eta_{ch} = \frac{\dot{m} c_p (T_{sch} - T_{ech})}{B A H_i} \quad (23)$$

3: ESSAIS

43

3.1: 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.

Pendant l'essai sur le radiateur en fonte on a remarqué un certain nombre d'anomalies dans les résultats obtenus qui sont dus en général aux instruments de mesure de l'installation.

La présence de deux débitmètres dont les plages de mesure sont comprises entre 100 - 1000 l/h et 200 - 2500 l/h ne permettent pas d'obtenir des écarts de température élevés.

On a remarqué que le débit d'eau chaude n'a aucune influence sur l'effet du flux de chaleur et on obtient des écarts de température faible et constant même pour des débits variables.

Ce phénomène est dû à l'inertie thermique du radiateur, le coefficient de convection de la surface interne est plus grand que le coefficient de convection de la surface externe empêchant l'écoulement régulier de la chaleur. Donc nécessité de remplacer

les débits-mètre afin d'avoir de faibles débits.

44

les flotteurs des débits-mètre du banc d'essai sont en acier pour réduire la plage de leur débits on a changé ces flotteurs en acier par des flotteurs en Aluminium de même dimension puis on a procédé à leur étalonnage.

voir page 45: graphe d'étalonnage du débit-mètre au dessous de la vanne à trois (3) voies.

voir page 46: graphe d'étalonnage du débit-mètre du côté de la vanne à quatre (4) voies.

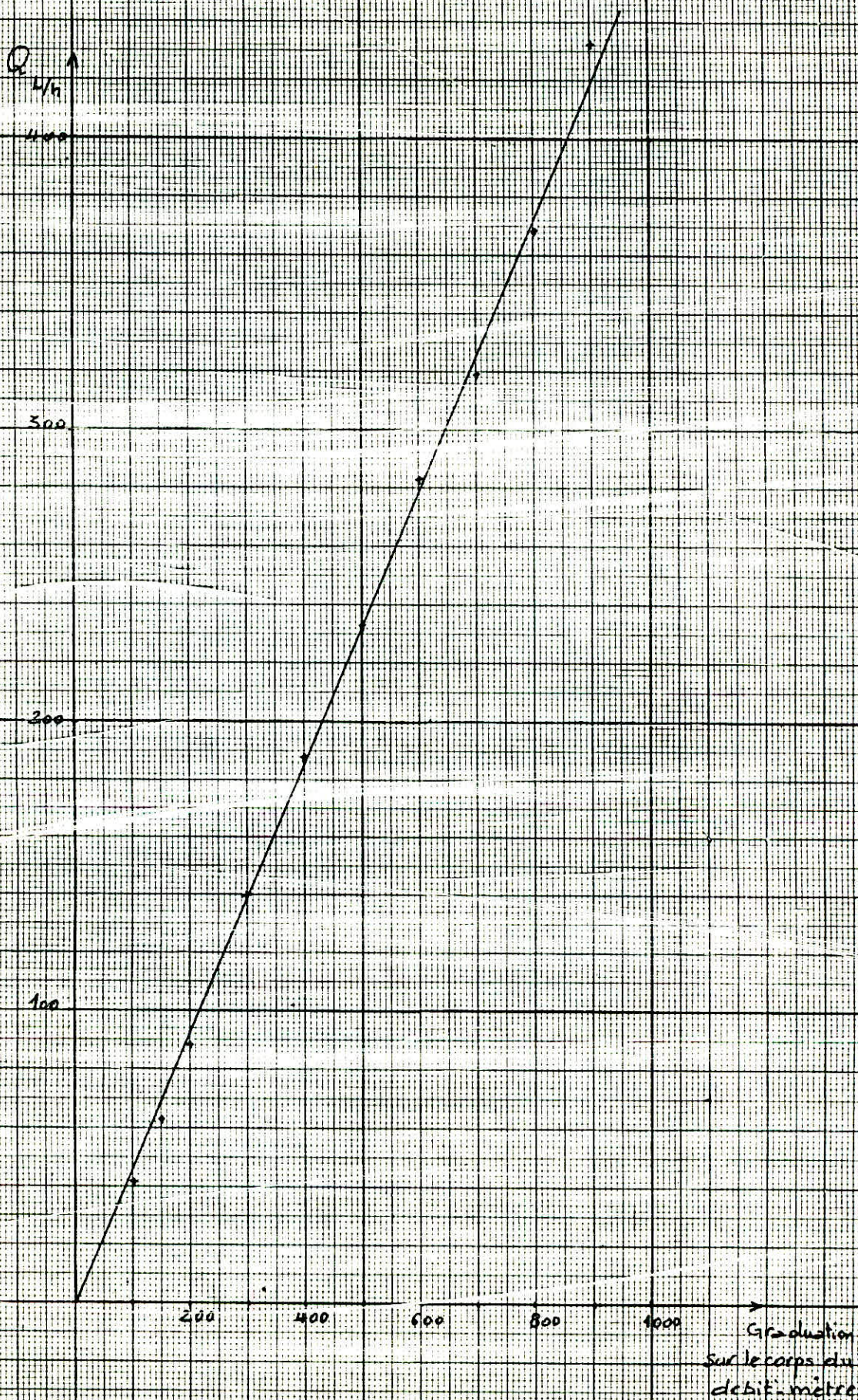
La puissance calorifique de chaque élément de chauffe sera calculée à partir de la relation (1).

Pour le tracé de la courbe caractéristique des radiateur en fonte et en acier, les données seront calculées à partir de la formule (1) et (19) car se 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 (1). $Q = f(T_m)$

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

$$Q_{F_m} = y = 0,46 x$$

45



$$Q_{fin} = y = 0,44 x$$

Q_{fin}
(L/h)
400

25

20

15

10

5

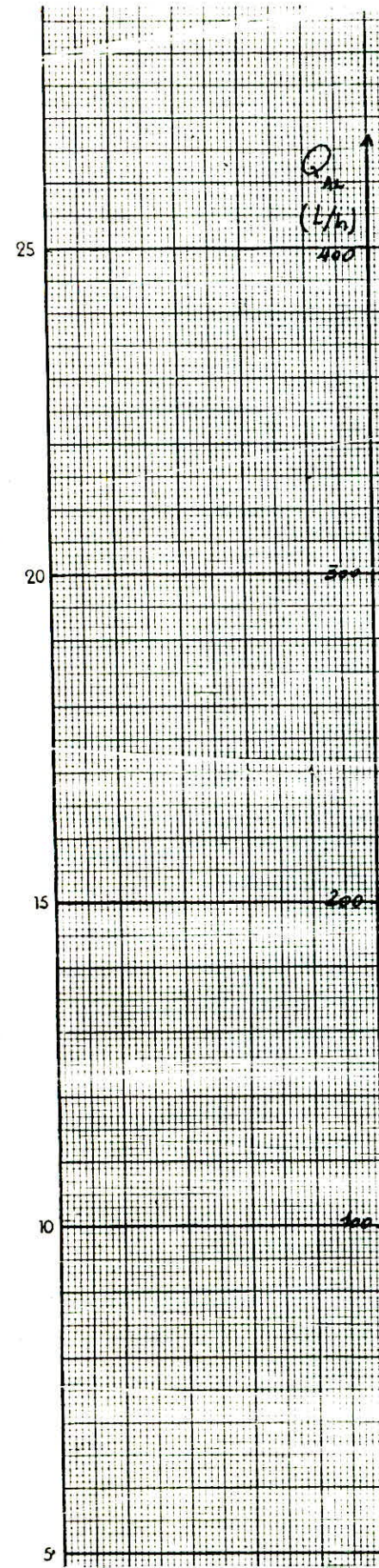
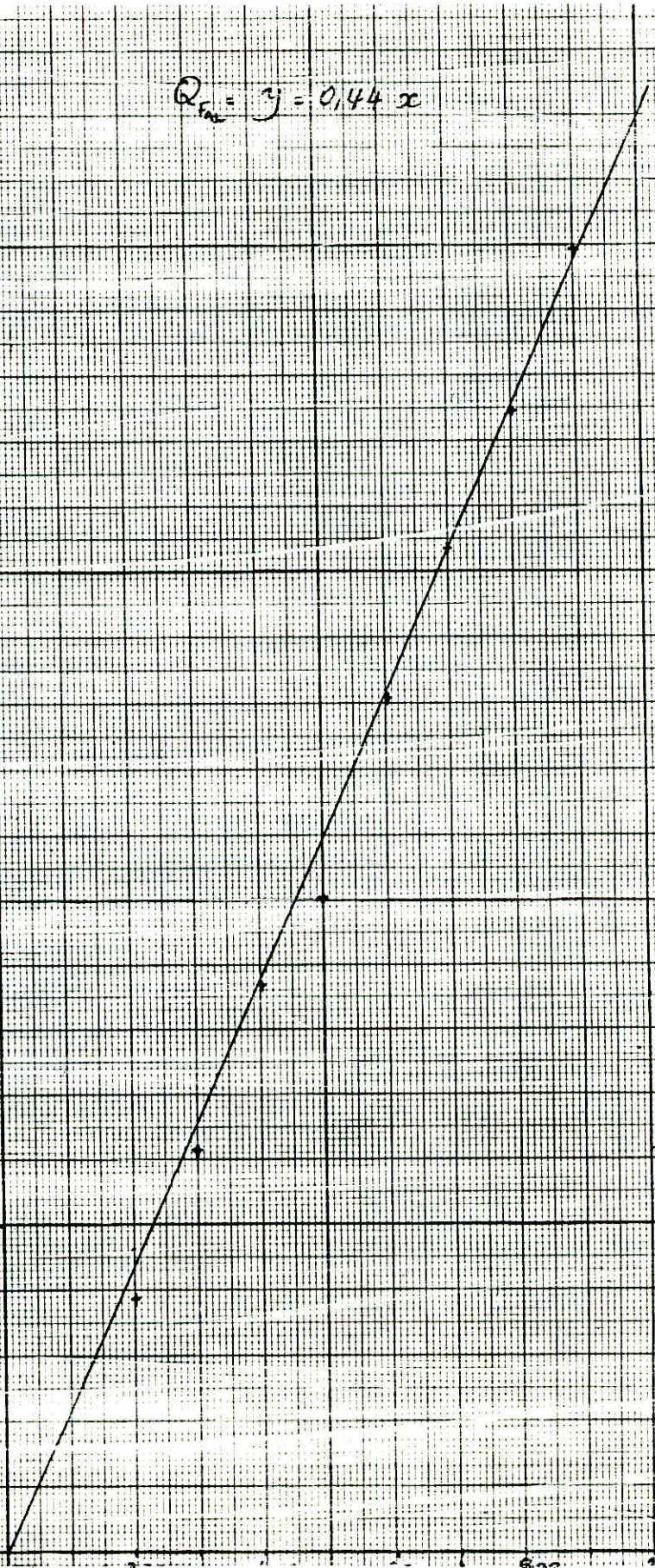
300

200

100

500

1000



$$U.A = \dot{m} c_p \frac{T_{re} - T_{rs}}{\frac{T_{re} + T_{rs}}{2} - T_i}$$

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

3.1.1 : essais sur le radiateur en fonte norme DIN 4720

Les données :

$$T_i = 15^\circ \text{C}$$

$$Q_n = 810 \text{ kcal/h} = 940,5 \text{ W}$$

$$\Delta t_n = 60^\circ \text{C}$$

3.1.2 : essais sur le radiateur en acier norme DIN 4722

les données :

$$T_i = 15^\circ \text{C}$$

$$Q_n = 630 \text{ kcal/h} = 731,5 \text{ W}$$

$$\Delta t_n = 60^\circ \text{C}$$

3.1.3 : essais sur le radiateur plat.

les données :

$$T_i = 15^\circ \text{C}$$

3.1.4 : essais sur le convecteur

les données :

$$T_i = 15^\circ \text{C}$$

voir : pages 53-54 courbes caractéristique de puissance du radiateur en fonte et en acier.

page 55 courbes de puissance du radiateur plat et du

convecteur

48

pages 56-57, courbes $U.A = f(T_m)$ des quatre
elements de chauffe

3.1.5. Conclusion.

Après le tracé des courbes caractéristique des elements 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 (3) passage au lieu de deux (2) dans celui en acier.

Pour le deuxième couple on remarque que le 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 dans une proportion d'environ 2,5. A 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 élevés; c'est pourquoi les performances du convecteur augmente

Resultats d'essais sur le radiateur en fonte

\dot{m} kg/h	C_p kJ/kg K	T_e °C	T_s °C	$\Delta T = T_e - T_s$ °C	$T_m = \frac{T_e + T_s}{2}$ °C	$T_m - T_i$ °C	Q kw	$Q_i = Q_m \left(\frac{\Delta T_i}{\Delta T_m} \right)^m$ kw	$U \cdot A$ W/K
80	4,179	87	73	14	80	65	1,300	1,046	20,00
80	4,179	85	72	13	78,5	63,5	1,207	1,014	19,00
80	4,179	81	69	12	75	60	1,114	0,940	18,56
80	4,179	79	67	11	73,5	58,5	1,021	0,909	17,47
80	4,180	74	64	10	69	54	0,928	0,817	17,18
80	4,182	69	60	9	64,5	49,5	0,836	0,727	16,88
80	4,184	66	58	8	62	47	0,743	0,679	15,81
80	4,188	60	53	7	56,5	41,5	0,651	0,575	15,68

avec $T_i = 15^\circ\text{C}$

$m = 4/3$

Resultats d'essais sur le radiateur en acier

\dot{m} kg/h	C_p kJ/kg K	T_e °C	T_s °C	$\Delta T = T_e - T_s$ °C	$T_m = \frac{T_e + T_s}{2}$ °C	$T_m - T_i$ °C	Q kW	$Q_c = Q_m \left(\frac{\Delta T_i}{\Delta T_m} \right)^m$ kW	U.A W/K
80	4,178	89	75	14	82	67	1,299	0,847	19,40
80	4,179	86	74	12	80	65	1,114	0,813	17,14
80	4,179	83	72	11	77,5	62,5	1,021	0,772	16,34
80	4,179	77	68	9	72,5	57,5	0,835	0,691	14,53
80	4,182	74	66	8	70	55	0,743	0,651	13,50
80	4,183	69	62	7	65,5	50,5	0,650	0,581	12,88
80	4,185	64	58	6	61	46	0,558	0,513	12,13
80	4,188	60	55	5	57,5	42,5	0,465	0,461	10,94

avec $T_i = 15$ °C

$m = 4/3$

Resultats d'essais sur le radiateur plat.

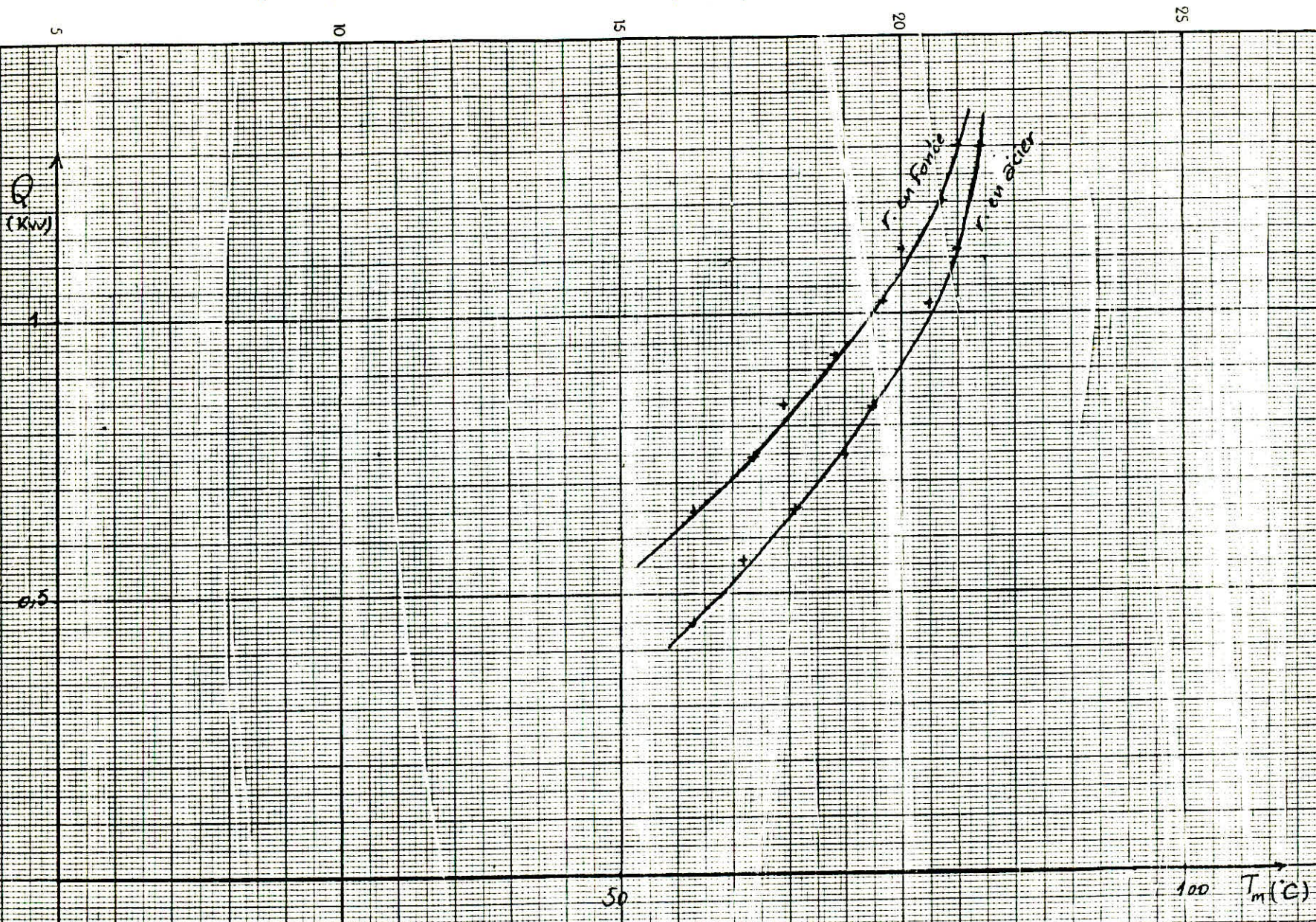
\dot{m} kg/h	c_p kJ/kg K	T_e °C	\bar{T}_s °C	$\Delta T = T_e - \bar{T}_s$ °C	$T_m = \frac{T_e + T_s}{2}$ °C	$T_m - T_i$ °C	Q kW	$U.A$ W/K
80	4,178	82	70	12	76	61	1,114	18,26
80	4,179	80	69	11	74,5	59,5	1,021	17,16
80	4,179	79	69	10	74	59	0,928	15,73
80	4,179	76	67	9	71,5	56,5	0,835	14,77
80	4,181	71	63	8	67	52	0,743	14,28
80	4,184	66	59	7	62,5	47,5	0,651	13,70
80	4,187	61	55	6	58	43	0,558	12,97
80	4,189	58	53	5	55,5	40,5	0,465	11,48

avec: $T_i = 15^\circ\text{C}$

Resultats d'essais sur le convecteur

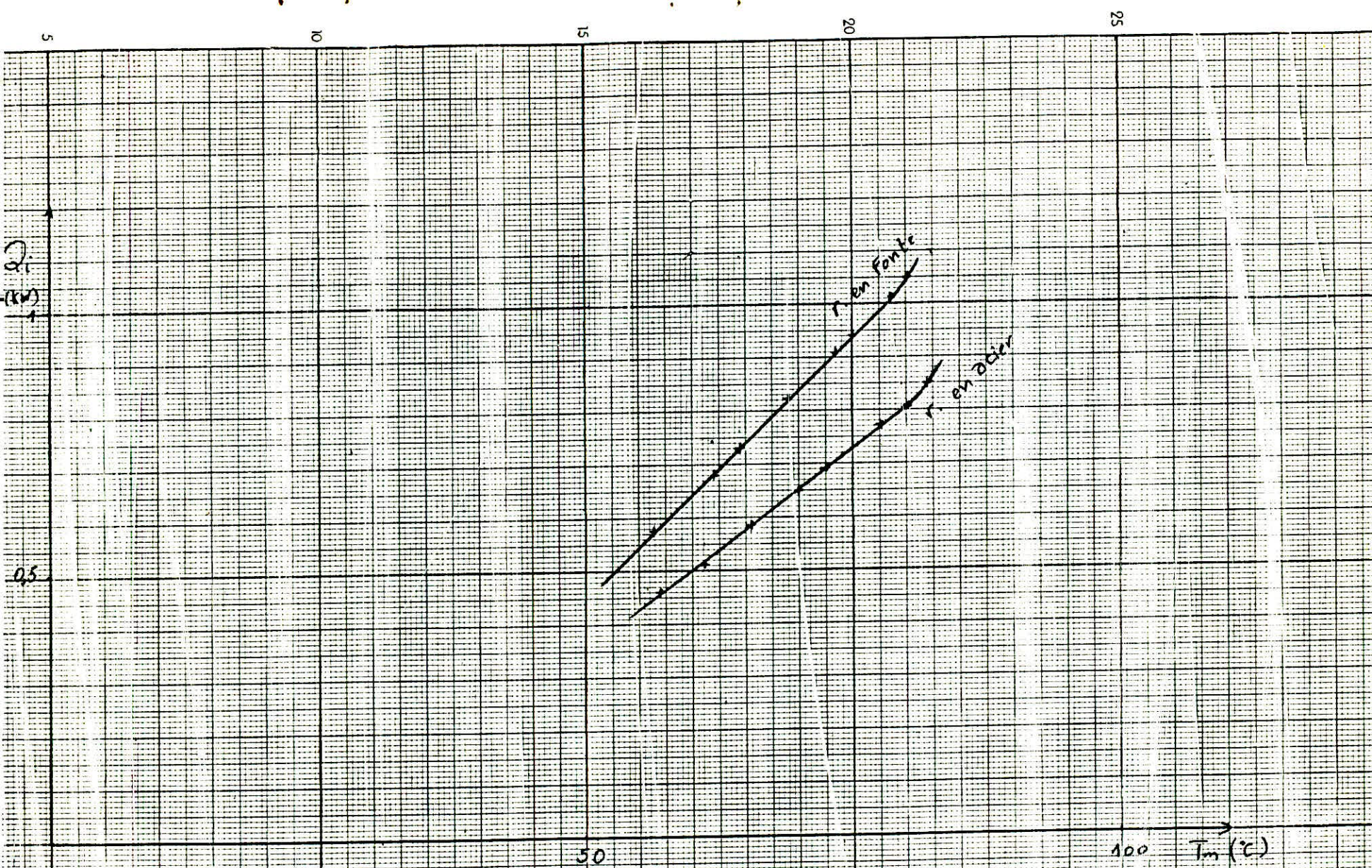
\dot{m} kg/h	C_p kJ/kg K	T_e °C	T_s °C	$\Delta T = T_e - T_s$ °C	$T_m = \frac{T_e + T_s}{2}$ °C	$T_m - T_i$ °C	Q kW	$U \cdot A$ W/K
80	4,180	76	62	14	69	54	1,300	24,07
80	4,181	74	61	13	67,5	52,5	1,207	22,99
80	4,182	71	59	12	65,5	50	1,115	22,30
80	4,184	69	57	11	62,5	47,5	1,022	21,51
80	4,186	65	55	10	60	45	0,930	20,66
80	4,187	63	54	9	58,5	43,5	0,837	19,24
80	4,188	61	53	8	57	42	0,744	17,71
80	4,192	57	50	7	53,5	38,5	0,652	16,93

avec: $T_i = 15^\circ\text{C}$



courbes caractéristique calor radiateurs

en fonte et en acier. $Q = f(T_m) = a \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{re} - T_{rs})$



courbes caractéristiques des radiateurs
en fonte et en acier

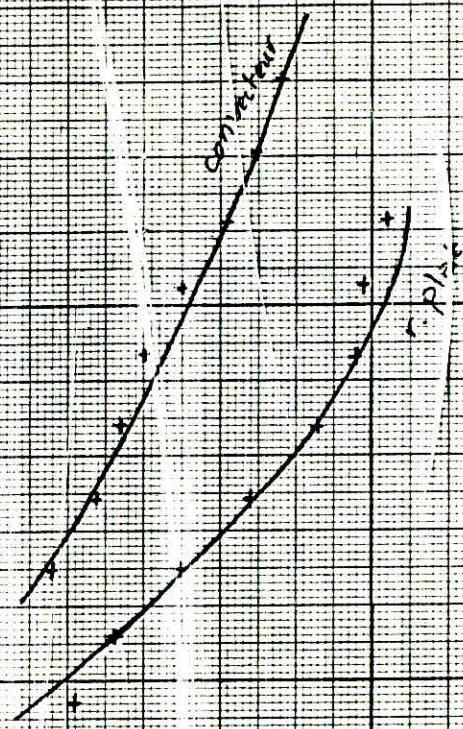
$$Q_r = f(T_m) = Q_n \left(\frac{\Delta T_r}{\Delta T_n} \right)^m$$

Q

0.5

50

100 T_m (°C)



Courbes caractéristique du convecteur

et du radiateur plat

$$Q = f(T_m) = n i c_p (T_{re} - T_{fs})$$

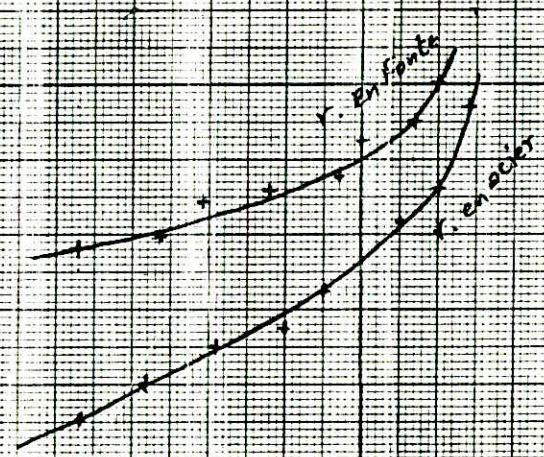
U.A.
W/K

10

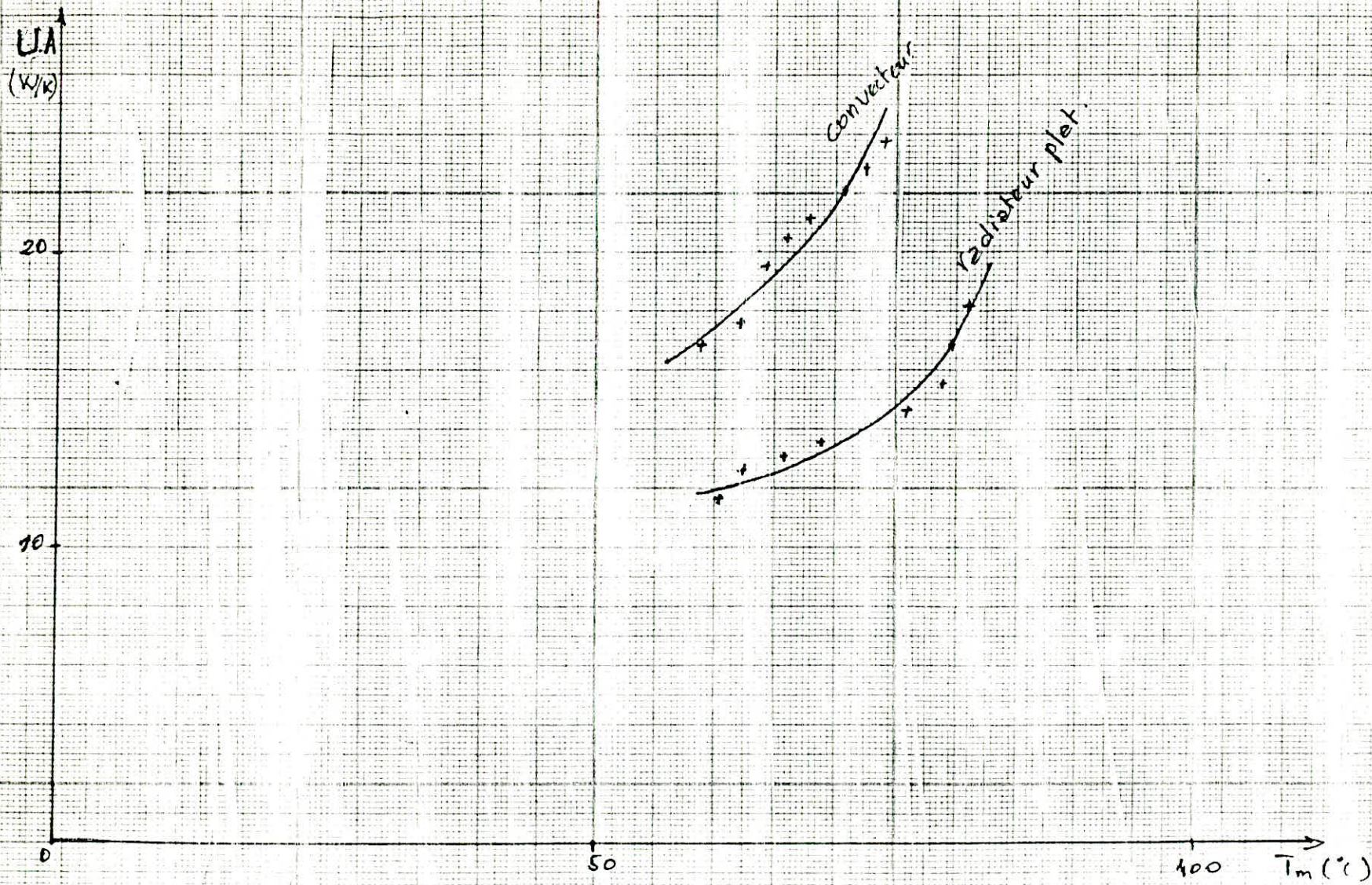
50

100

T_m (°C)



courbes $U.A.-f(T_m)$ des radiateurs
en fonte et en acier.



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

beaucoup plus vite que celle du radiateur plat.

pour les courbes U.A en fonction de T_m dans la plage de température mesurées nous remarquons qu'elles ont le 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.

3.2 : Mesure de la puissance de la chaudière.

L'échangeur de l'installation est équipé d'un compteur et non d'un débit-mètre ce qui nous ramène à utiliser la méthode directe pour mesurer 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 traversant la chaudière on notera qu'on a utilisé le débit-mètre avec la plage de mesure 200 - 2500 l/h avec le flotteur en acier.

resultats :

$$\dot{m} = 1800 \text{ l/h}$$

$$\Delta T = 90 - 82 = 8^\circ\text{C}$$

$$c_p = 4,176 \text{ kJ/kg K}$$

on a

$$Q = 60134,4 \text{ kJ/h}$$

3.2.1: 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

3.3: 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 débit massique on multiplie le débit volumétrique par la masse volumique du gaz dans ses conditions de pression et de température.

en 10 L on a 17 g de gaz

$$B_v = \frac{10}{17} = 0,58 \text{ L/s}$$

$$\rho'_{\text{gaz}} = 0,847 \text{ Kg/m}^3 \text{ pour } P' = 1,013 \text{ bar, } T' = 0^\circ\text{C}$$

Calculons ρ_{gaz} pour $P = 1,0396 \text{ bar}$, $T = 15^\circ\text{C}$ (Pression et Température de livraison du gaz.)

On suppose que le gaz est parfait.

$$\frac{P}{\rho T} = \frac{P'}{\rho' T'} \Rightarrow \rho = \frac{PT'\rho'}{P'T}$$

$$\rho = \frac{1,0396 \times 273 \times 0,847}{1,013 \times 288}$$

$$\rho = 0,824 \text{ Kg/m}^3$$

donc on a :

$$B_m = B_v \cdot \rho = 2,088 \times 0,824$$

$$B_m = 1,72 \text{ Kg/h}$$

on a le pouvoir calorifique du gaz

$$\Delta H_c = 11650,48 \text{ Kcal/Kg pour } P = 1,0396 \text{ bar}$$

$$T = 15^\circ\text{C}$$

donc on .

$$\eta = \frac{60134,4}{1,72 \times 4,18 \times 11650,48}$$

$$\eta = 72 \%$$

3.3.1: Conclusion

on voit que le rendement a une valeur faible par

rapport à la normale [77% - 90%], cela est dû essentiellement aux conditions expérimentales qui sont entachées de l'influence des courants des gaz de fumée circulant dans le local.

4: Manuel de T.P

En ce chapitre nous proposons un T.P d'aspect pédagogique resumant les experiences faites sur le banc.

4.1: le but du T.P.

- Mesurer la puissance des elements de chauffe et leur coefficient global de transfert de chaleur.
- mesurer la puissance de la chaudiere et calculer son rendement.

4.2: mise en route de l'installation.

voir le paragraphe : 1.2

4.3: Essais

4.3.1: Consignes pour mesurer la puissance des elements de chauffe :

- choisir le circuit de la vanne à 4 voies
- Fermer la vanne sur la conduite de retour de la vanne à 3 voies (c'est la vanne la plus basse sur l'installation.).
- mettre le levier de la vanne à 3 voies sur la position 9.
- la vanne à 4 voies doit etre positionner de telle maniere que l'eau de retour ne se melange pas avec l'eau d'alimentation des corps de chauffe.
- choisir l'element de chauffe pour faire l'experience ci-dessus en agissant sur sa vanne d'alimentation.
- positionner la tête du flotteur sur la graduation 200 l/h en agissant sur la vanne ou dessus du debit-metre (200 - 2500 P/h)
- relever les temperature sur les thermometres du circuit

de la vanne à 4 voies

4.3.2: consignes pour mesurer la puissance de la chaudière

- Procéder à la mise en marche de la chaudière.
- consigner la température 90°C sur le regulateur thermostatique.
- Faire circuler l'eau dans 1 ou 2 corps de chauffe uniquement à l'aide des 2 pompes avec toutes les autres vannes ouvertes jusqu'à atteindre la température 70°C
- Alimenter l'échangeur en eau froide et l'eau chaude
- Fermer les vannes des éléments de chauffe et la vanne en bas de la conduite de retour de la vanne à 3 voies
- mettre le levier de la vanne à 3 voies sur la position 9.

Lorsque la température de la chaudière approche les 90°C relever les températures sur les 2 thermomètres du circuit de la vanne à 4 voies.

pour cette expérience on notera qu'on doit utiliser le flotteur en Acier pour pouvoir mesurer le plus grand débit possible.

4.4: Travail demandé.

- Tracer la courbe de $Q = f(T_m)$ pour chaque élément de chauffe et sa courbe $U.A = f(T_m)$
- calculer la puissance de la chaudière et son rendement.

5: Conclusion generale

64

Notre étude a pour objectif la mise en route du banc d'essai et faire une serie de test sur ses elements afin de rediger un manuel de T.P

la verification du bon fonctionnement des elements du banc dans nos conditions de travail necessite la connaissance au prealable de certaines caracteristiques, notamment les aires des surfaces de chauffe.

la seule comparaison que l'on puisse faire avec exactitude et sans restriction est relative à la performances des elements suivant nos conditions experimentales et pour d'autres conditions.

le point important à signaler aussi est les changements qui devraient etre apportés pour assurer le bon fonctionnement de l'installation. on peut citer :

- mise en place d'une cheminée d'evacuation des ⁹²³ de fumée vers l'exterieur du local
- changement du compteur du regulateur à contre-courant par un debit-metre.
- usiner des flotteurs pour les debits-metre avec du materiau plus leger que l'Aluminium (L'Alpax par exemple) ou bien evider leur centre pour diminuer leur masse afin de mesurer des debits plus faibles
- si possible aussi changer l'entrée d'eau des elements

65.
de chauffe (radiateur en fonte, radiateur en acier, et
le radiateur plot) en le mettant au sommet opposé
à la sortie, en diagonale de telle manière à accroître
leurs puissance calorifique. et placer des thermo-couples
à l'entrée et la sortie de chaque élément de chauffe
pour avoir plus de précision sur les températures à
mesurer.

APPENDICE

6 : proposition d'amélioration d'appareil de mesure de l'installation 68

pour les changements proposés dans la conclusion générale à apporter sur l'installation on a pu installer au dernier moment un thermo-couple sur la sortie de chaque élément de chauffe.

6.1: réalisation des thermocouples.

les thermocouples utilisés sont du type Fer-constantan après la réalisation d'une micro-soudure des 2 fils dégainés à une extrémité. on soude 2 fils en cuivre aux 2 fils dégainés de l'autre extrémité qu'on plonge dans tube en verre rempli de cire fondue et qu'on laisse se solidifier ce travail permet d'éliminer les vibrations des fils soudés qui faussent beaucoup les mesures.

6.2: L'étalonnage de chaque thermocouple sur l'enregistreur graphique de l'unité helio technique nous a donné comme résultat: $9 \text{ mm} = 10^\circ\text{C}$

6.3 utilisation des thermocouples.

on branche à l'enregistreur le thermocouple qui mesure la température de la source froide. on plonge son extrémité dans le vase DEWAR rempli de glace à la température de 0°C ainsi on positionne le stylet sur le zéro de l'enregistreur puis on réalise le branchement. (voir page 68) - pour mesurer les

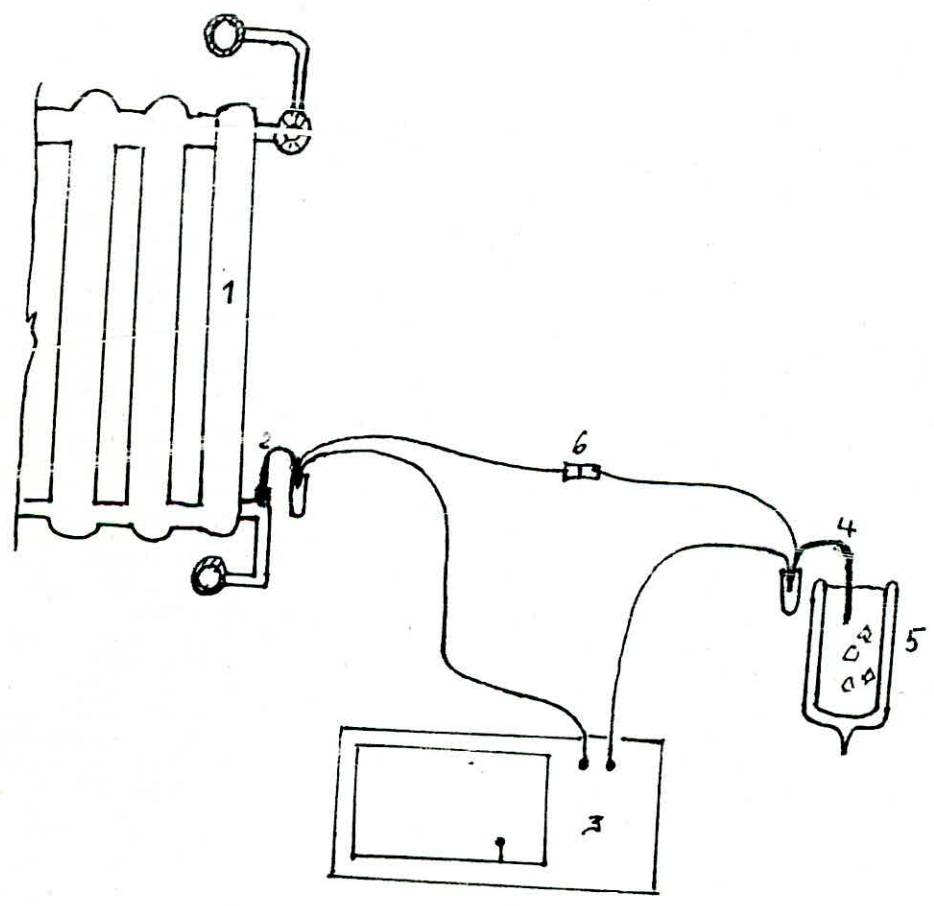


schéma de branchement des thermocouples

Legende du schéma du
branchement des thermocouples

68

- 1: corps de chauffe
- 2: thermocouple de la source chaude.
- 3: enregistreur
- 4: thermocouple de la source froide
- 5: Vase DEWAR.
- 6: Conection par fiche des 2 fils en cuivre.

BIBLIOGRAPHIE

1. H. RIETSCHEL . W RAISS
Traité de chauffage et de climatisation
Tome 1 et Tome 2
Dunod - Paris - 1974
2. KREITH
Le transfert de chaleur
3. W. H. Mc ADAMS
Transmission de la chaleur
Dunod - Paris - 1964
4. K - RAŽNJEVIĆ
Tables et diagrammes thermodynamiques
Eyrolles - 1974
5. Techniques d'ingénieur
reference : R 2590
B 2110

