

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département De Genie Mécanique

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en Genie Mécanique

Thème

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

**ETUDE D'UN CHAUFFAGE DOMESTIQUE UTILISANT
COMME COMBUSTIBLE LE GRIGNON D'OLIVE**

Présenté par :
Mr. AMADOU MAMADOU

Proposé et dirigé par :
Mr. B. BENKOUSSAS
Mr. Y. HALLI

PROMOTION
SEPTEMBRE 2001

E.N.P.10, Avenue Hassen-Badi, EL-HARRACH, ALGER

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département De Genie Mécanique

**Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en Genie Mécanique**

Thème

المدرسة الوطنية للتكنولوجيا
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

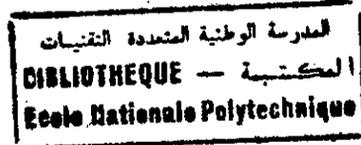
**ETUDE D'UN CHAUFFAGE DOMESTIQUE UTILISANT
COMME COMBUSTIBLE LE GRIGNON D'OLIVE**

**Présenté par :
Mr. AMADOU MAMADOU**

**Proposé et dirigé par :
Mr.B.BENKOUSSAS
Mr.Y.HALLI**

**PROMOTION
SEPTEMBRE 2001**

E.N.P.10, Avenue Hassen-Badi, EL-HARRACH, ALGER



REMERCIEMENTS

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné la volonté et le courage d'arriver au terme de ce travail.

Je remercie Mr. Y.HALLI et B.BENKOUSSAS de m'avoir encadré et encouragé dans toutes mes démarches concernant cette étude.

J'adresse ma profonde reconnaissance à l'ensemble des enseignants du département et à tous ceux qui ont contribué à ma formation.

Mes remerciements aussi à tous ceux ont participé à l'élaboration de ce mémoire.

En fin je remercie le jury d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

DEDICACES

Je dedie ce modeste travail :

- Aux êtres qui me sont très chers à savoir mon père et ma mère.
- A l'ensemble de mes frères et sœurs, mes cousins et cousines, mes neveux et nièces et de mes amis (es).
- A celle que je considère être l' élu de mon cœur.
- A la mémoire de ma chère tante COUMBA DICKEL
- A la mémoire de ANNE TIDJANE
- A la mémoire de mon meilleur ami AMADOU TIDJANE disparu à fleur d'age.

Résumé

Pour une étude complète d'un chauffage, la connaissance du combustible est nécessaire pour la conception du foyer pour les combustibles solides ou du brûleur pour les combustibles liquide.

Aussi les calculs thermiques ne sont pas en reste car pour connaître la puissance que doit fournir la chaudière, il importe de calculer les besoins calorifiques du bâtiment en considération.

Au cours de ce projet notre travail a consisté à dimensionner les parties essentielles devant constituer le système de chauffage à savoir ; la chaudière, la canalisation, et les corps de chauffe.

Mots clés : chauffage, combustible, foyer, chaudière, corps de chauffe.

Abstract

For a perfect survey of a heating system, the knowledge of the combustible to be used is necessary for the design of the fire-place for solid combustibles and that of the burner for liquid combustibles.

Therefore the thermique calculations are quite important in so far as they allow to estimate the thermique needs of the considered building in order to know the power that must be developed by the boiler.

Through this work our main aim has been to dimension the essential parts that constitute the heating system; that is: The boiler, canalizations and the heating bodies (radiators).

Key words: heating system, combustible, fire-place, boiler, heating bodies.

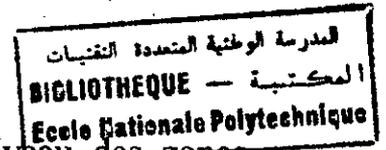
Nomenclature

symbole	Unité	definition
ϕ	Watt/s	Flux de chaleur qui traverse la surface de la paroi
S	m ²	Surface de la paroi
t _{pi}	°c	Température de la face intérieure de la paroi
t _{pe}	°c	Température de la face extérieure de la paroi
λ	Watt/m.°c	Coéfficient de conductivité thermique du materiau
e	m	Épaisseur de la paroi
ϕ_c	Watt/s	Flux de chaleur par convection
t _i	°c	Température intérieure du local
α	Watt/m ² .°c	Coéfficient de convection
ϕ_r	Watt/s	Flux de chaleur par rayonnement
t _e	°c	Température extérieure
r	Watt/m ² .°c	Coéfficient de rayonnement
h _i	Watt/m ² .°c	Coéfficient de transmission thermique intérieur
h _e	Watt/m ² .°c	Coéfficient de transmission thermique extérieur
R _i	m ² .°c/watt	Resistance thermique intérieure
R _e	m ² .°c/watt	Resistance thermique extérieure
K	Watt/m ² .°c	Coéfficient de transmission utile de la paroi
Q ₀	Watt/s	Deperdition calorifique de transmission
Q _T	Watt/s	Besoins calorifique de transmission
Z	-	Majorations
D	Watt/m ² .°c	Perméabilité moyenne du local
a	-	Perméabilité à l'air du joint
R	-	Caracteristique du local
H	-	Caracteristique d'immeuble
$\sum (aL)_A$	m	Perméabilité des fenêtres et portes
Q _L	Watt/s	Besoins calorifiques de ventilation
J	mmCE/m	Coéfficient de frottement linéaire
L	m	Longueur de la section partielle
V	m/s	Vitesse de l'écoulement de l'air
ω	Kg/m ³	Poids spécifique de l'eau
R	-	Module de resistance
g	m/s ²	La pesenteur
ΔP	mmCE	Pertes de pression totales
ΔP_m	mmCE	Pression motrice
h	m	Difference entre le radiateur et la chaudière
ω_f	m ²	Section du conduit
p	Kg/h	Quantité du combustible brûlé
h	m	Hauteur qui separe la grille au nez du brûleur
H	mmCE	Valeur du tirage de la cheminée
γ_i	Kg/m ³	Poids spécifique des gaz de combustion
γ_a	Kg/m ³	Poids spécifique de l'air extérieur
f	m ²	Section libre de la cheminée
R _h	Kg/h	Le poids des gaz de combustion évacués
λ	-	Coéfficient de frottement

Introduction	1
CHAPITRE I : Introduction générale	
I.1-Grignon d'olive (historique).....	2
I.2-Composition physique et chimique de l'olive.....	2
I.3-Les sous-produits de l'oléiculture.....	3
I.4-La composition chimique du grignon d'olive.....	4
I.5-Valorisation des sous-produits de l'oléiculture.....	5
I.6-Estimation quantitative des rejets d'huilerie.....	6
CHAPITRE II : Calculs thermiques	
II.1-Transmission de la chaleur.....	7
II.1.1-Généralités.....	7
II.1.2-Les modes de transmission.....	7
II.1.3-Transmission globale par la surface d'une paroi plane.....	9
II.1.4-Coefficient de transmission d'une paroi constituée par un matériau homogène.....	10
II.1.5-Coefficient de transmission d'une paroi hétérogène.....	11
II.1.6-Coefficient de transmission d'une paroi comportant des lames d'air non ventilées.....	11
II.1.7-Coefficient de transmission linéique.....	11
II.2-Les besoins calorifiques.....	12
II.2.1-Généralités.....	12
II.2.2-Besoins calorifiques pour pertes par transmission.....	12
II.2.3-Les majorations.....	14
II.2.4-Les besoins calorifiques pour pertes ventilation.....	16
II.2.5-Calcul des besoins calorifiques.....	18
II.2.6-Apport gratuit (Besoins de chauffage).....	19
II.2.7-Exemple de calcul des besoins calorifiques.....	19
CHAPITRE III : Chauffages centraux	
III.1-Caractéristiques des chauffages centraux.....	28
III.2-Calcul des diamètres de la tuyauterie.....	37
CHAPITRE IV : Production de chaleur	
IV.1-Chaudières à combustibles solides.....	48
IV.2-Détermination de la chaudière.....	50
IV.3-Chaufferie.....	53
IV.4-Soute à combustible solide.....	55
IV.5-Vase d'expansion.....	56
IV.6-Choix du modèle de chauffage.....	57
CHAPITRE V : Chauffage classique	
V.1-Introduction.....	59
V.2- Poêles à combustible solide.....	59
V.3- Conduits d'évacuation des gaz de combustion.....	61
V.4- Conclusion.....	63
Conclusion	64

Introduction

Introduction



Le problème d'assainissement du gaz de butane au niveau des zones montagneuses de la wilaya de Tizi-Ouzou et la non existence du gaz naturel dans cette wilaya ont mené à la réflexion sur une source d'énergie alternative (grignon d'olive).

La biomasse ligno-cellulosique constitué par des résidus agricoles, certains sous produits de l'industrie agroalimentaire (pulpes, bagasse, grignon d'olive), les fourrages et le bois non exploités, pour son abondance et renovabilité, peut constituer une matière première énergétique intéressante.

Le grignon d'olive par sa disponibilité dans la zone pourrait palier au problème de chauffage moderne que connaît certains villages de la région.

Le but de notre travail est d'étudier avec détail un système de chauffage qui fonctionnerait avec du grignon d'olive comme combustible. Pour cela, nous avons subdivisé notre travail en cinq étapes principales.

De ce fait, la première étape sera consacrée aux généralités du grignon d'olive (son histoire, ses propriétés physiques et chimiques, son estimation en rejet etc..).

La deuxième étape, quant à elle, nous permettra de connaître et par-là définir les besoins calorifiques du bâtiment qui sera pris comme exemple, par conséquent les dimensions du chauffage.

La troisième étape sera consacrée à l'étude comparative des types de chauffages qui nous conduira à un choix judicieux du mode de chauffage à adopter.

La quatrième étape, sera consacrée à l'étude du chauffage modèle c'est-à-dire aux choix des différents éléments qui vont constituer l'installation de chauffage telles que la chaudière, la chaufferie, la soute etc..

En fin la dernière étape sera consacrée à l'étude d'un chauffage classique qui réchauffe les locaux à partir des gaz de combustion.

Chapitre 1

Introduction Générale

I.1. Grignon : Historique

La culture de l'olivier est très ancienne, son histoire se confond avec celle du bassin méditerranéen. Bien que son aire de répartition ne cesse de s'élargir, l'olivier reste ce pendant une culture méditerranéenne par excellence, avec un taux de 97% de la production totale d'olivier, tableau I.1[1].

L'Algérie, un des pays producteurs de l'huile d'olive, compte actuellement 16 millions d'oliviers sur une surface d'environ 197.000 hectares. Des variétés rencontrées sont principalement : la chemlal(50%), l'azeradg(5%), la bouchouk et la limli(2%) cultivées surtout en Kabylie et sigoise(20%) à l'oranie. A coté de ces variétés locales, on rencontre aussi des variétés introduites d'Espagne, de France et d'Italie comme la cornicobra, la lucque et la frantoio[1].

I.2. La composition physique et chimique de l'olive

Physiquement l'olive est composé en pour-cent de son poids sec de :

- * Epicarpe 2,0 à 2,5%
- * Mésocarpe(pulpe) 71,1 à 80,5%
- * Endocarpe ou paroi du noyau 17,3 à 23,0%
- *Et amandon 2,0 à 5,5%

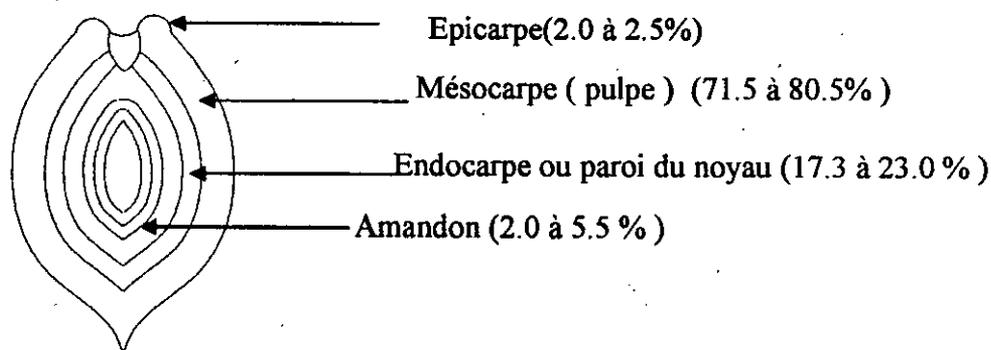


Figure I-1 : composition physique de l'olive (en % du poids sec d'olive) [1]

La composition chimique de l'olive est fonction de plusieurs paramètres dont la variété, le climat et les conditions culturelles. La composition chimique moyenne de l'olive en fonction des différentes parties anatomiques est représentée dans le tableau I.2 [1].

Pays	Arbres × 1000	% d'arbres du total dans le monde	Surfaces en ha × 1000	% de surface totale	Densité Arbre/ha
Algérie	15.818	2,0	197	2,2	80
Espagne	207.726	26,6	2.415	26,9	86
France	5.766	/	42	/	137
Maroc	28.000	3,6	150	2,7	112
Tunisie	52.936	6,8	1363	15,1	39
U.S.A	4.500	/	44	/	102
Argentine	8.270	1,0	84	0,9	92
Syrie	19.315	2,5	146	1,6	132
Grèce	95.936	12,3	504	5,6	190

Tableau I.1 : Répartition des oliviers par pays [1].

Partie anatomique Constituants	Epicarpe	Mésocarpe	Endocarpe + amendons
Cendre totale	1,6	2,3	1,2
Matière azotée	9,8	9,6	1,3
Matière grasse	3,4	51,8	0,8
Cellulose brute	2,4	12,0	74,1
Extractifs non azotés	82,8	24,2	22,7

Tableau I.2 : Composition chimique de l'olive mure en % de matière sèche [1]

I.3. Les sous-produits de l'oléiculture

La technologie d'extraction de l'huile d'olive est variable. Les deux procédés actuellement utilisés sont la pression et centrifugation néanmoins il existe d'autres procédés, comme le procédé Acapulco qui comprend la séparation préalable du noyau et de la pulpe avant extraction de l'huile. Une multitude de sous produits en résulte. On distingue :

- **Le grignon brut** : c'est le résidu de la première extraction de l'huile par Pression de l'olive entière, il contient des teneurs élevées en eau de 24% et en huile de 9% ce qui favorise son altération rapide lorsqu'il est laissé à l'air libre.

- **Le grignon épuisé** : c'est le résidu obtenu après déshuilage ou épuisement du grignon brut par un solvant généralement l'héxane.
- **Le grignon tamisé** ou partiellement dénoyauté : il résulte de la séparation partielle des débris de coque et de la pulpe par tamisage ou ventilation. Il est dit gras si son huile n'est pas extraite par solvant et dégraissé ou épuisé si son huile est extraite par un solvant.
- **La pulpe d'olive** : c'est la partie obtenue lorsque le noyau a été séparé de l'olive avant l'extraction de l'huile procédé Acapulco. Elle est très riche en eau (6%) et de conservation très difficile
- **Les margines** : c'est un résidu aqueux séparé de l'huile par centrifugation ou sédimentation après le pressage. Il représente 50% du poids de l'olive. [1]
Les quantités produites de ces sous-produits sont fonction du procédé d'extraction de l'huile.

I.4. La composition chimique du grignon d'olive.

La composition chimique du grignon d'olive varie dans des larges limites en fonction de l'olive elle-même (état de maturité, variété, etc....) et du procédé d'extraction de l'huile.

- **Teneur en matière sèche** : elle varie selon le type de grignon. La presse hydraulique et la super presse laissent un grignon à 25% d'humidité contre 60% pour la presse continue.
- **Les matières minérales** : des teneurs en cendre 4 à 5 fois plus importantes que celles considérées comme moyenne (5% de matière sèche) sont apportées par certains auteurs. Cet excès est attribué à une contamination par du sable au niveau des huileries. Le potassium et le calcium apparaissent comme éléments prédominants suivis du phosphore et du sodium.
- **Les matières grasses** : la teneur en matière grasse est le plus souvent élevée et demeure fonction du mode d'extraction de l'huile. La pression donne des grignons et pulpes riches en matière grasse (30% de la matière sèche en moyenne). L'épuisement la réduit à 4-5% de la matière sèche ce qui explique l'intérêt de cette opération.

La matière grasse du grignon d'olive est riche en acide oléique, linoléique, palmitique et linoléique. Les proportions en chacun de ces acides gras diffèrent en fonction de l'origine de l'olive et du traitement appliqué.

La richesse du grignon en lipides pose un problème de conservation de ce résidu. En effet, des phénomènes de rancissement de graisse peuvent se produire.

- **Les fibres brutes** : la teneur en cellulose brute est également élevée et varie de 15 à 50 % de la matière sèche. Elle dépend de la proportion des coques présente dans le résidu.

Les coques de noyaux renferment 74% des fibres brutes contre 2,43 et 12,1% respectivement pour la pellicule et la pulpe.

La teneur en lignine est également élevée (30% de la matière sèche).

- **Les matières azotées totales** : la teneur en protéines brutes est voisine de 10 % de la matière sèche et varie de 7 à 16 % en fonction de la proportion de coques de noyaux. Ces derniers représentent environ la moitié de la masse du grignon et renferment 1 à 2% de matières azotées totales. Ainsi, contrairement aux autres tourteaux le grignon d'olive est pauvre en protéines brutes ce qui témoigne d'une faible valeur biologique de résidu.

- **Les composés phénoliques** : les phénols identifiés dans le grignon d'olive sont surtout l'oleuropéine, la cafféyl-glucose, l'acide coumarique et le flavanol[1].

Les teneurs moyennes des différents types de grignons en cendre totale(C.T), en matières grasses(M.G), en cellulose brute(C.B), en extractif non azoté(E.N.A) sont représentés dans tableau I.3

Types de grignons	Brut	Epuisé	Tamisé	Epuisé-tamisé
Matières sèches	81,4	89	92,8	89,5
Cendre total	8,0	7,9	17,3	15,5
Matières azotées totales	6,6	13,6	7,3	10,3
Matières grasses	12,9	3,2	18,0	4
Celluloses brutes	35,5	40,7	24,2	21,5
Extractifs non azotés	37,0	34,6	33,2	48,7

Tableau I.3 : composition chimique des différents types de grignon en % de la matière sèche [1].

I.5 Valorisation des sous-produits de l'oléiculture.

Les grignons d'olive, les coques et les eaux de végétation, pour leurs quantités très importantes et leurs effets défavorables sur l'environnement ont l'objet de valorisation à fin d'être utilisés à des fins industriels.

- **Valorisation des coques**

La forte valeur énergétique des coques issues du décorticage permet leur utilisation comme combustible, assurant ainsi la couverture énergétique des huileries, voire des savonneries qui y sont jointes. Les cendres peuvent servir d'engrais en raison de leur teneur en oxyde de potassium[1].

- **Valorisation des grignons**

Les grignons d'olive mélangés à des fourrages sont utilisés comme alimentation de bétail. Ils sont également utilisés dans la production continue de furfural, et dans la production d'alcool par saccharification, toute fois il faut

noter que ces procédés ne semblent pas être avantageux sur le plan économique. Les recherches se poursuivent dans le but d'amélioration.

- **Valorisation des eaux de végétation**

L'étude des méthodes visant l'utilisation industrielle des eaux de végétation qui en prévoit aussi la séparation, apparaît assez souhaitable outre leur emploi comme engrais liquide, fertilisant et compost, on a découvert en Espagne, une méthode intéressante qui consiste à exploiter les eaux de végétation en extrayant des levures de type « candida » qui permettent l'épuration des eaux. La teneur en sucre, facilement assimilable des eaux de végétation, les sels minéraux et un pH excellent en font un champ idéal pour le développement de ces levures.

I.6. Estimation quantitative des rejets d'huilerie.

Le procédé classique d'extraction d'huile d'olive par pression, produit en moyenne, pour une quantité de 100 Kg d'olive 20 Kg d'huile, 40 Kg de grignon, et 40 Kg de margine.

Dans la région de Kabylie, la principale région productrice de l'huile d'olive en Algérie, les rejets solides et liquides des huileries sont estimés en tonnage et en volume à 48000 tonnes de grignons et 48000 mètres cubes d'eaux de végétation(margines) rejetés directement dans nature[1].

Chapitre 2

Calculs Thermiques

II.1. Transmission de chaleur :**II.1.1. Généralités :**

L'étude du transfert de chaleur d'un corps à un autre ou d'un corps à une enceinte dans laquelle il est placé ; ou d'une enceinte à l'atmosphère extérieure à travers les parois, est une question des plus importantes et constitue la base fondamentale des problèmes de chauffage [2].

La chaleur se transmet ou se propage à travers les corps suivants trois modes principaux de transmission :

- La conduction ;
- La convection ;
- Le rayonnement.

La conduction est une transmission lente de la chaleur dans un milieu matériel qui s'échauffe de proche en proche. La chaleur passe d'une particule infiniment petite de ce milieu à la particule immédiatement voisine sans qu'il y ait de placement de matière.

La convection est une transmission de la chaleur dans un milieu fluide ; le déplacement des particules infiniment petites échauffées provoque des courants qui tendent à uniformiser par mélange la température du fluide.

Le rayonnement est une transmission rapide de la chaleur à de grandes distances à la manière de la lumière, C'est-à-dire par radiation, sans que l'existence d'un milieu matériel soit nécessaire.

En chauffage le milieu dans lequel s'effectuent les divers modes de transmission calorifique se trouve généralement concrétiser par une ou plusieurs parois plongées dans l'air ambiant ou tout autre fluide [3].

On appelle flux de chaleur traversant une paroi, la quantité de chaleur qui s'écoule à travers cette paroi pendant l'unité de temps.

L'unité de quantité de chaleur est généralement le watt par l'unité de temps en seconde (s).

Les unités de longueur et de surfaces généralement utilisées sont respectivement le mètre (m) et le mètre carré (m²)

L'unité de température est le degré Celsius (°C).

II.1.2. Les modes de transmission:**1.2.1. Conduction :**

Considérons un milieu matériel constitué par un matériau homogène limité par deux parois planes à faces parallèles et séparant deux atmosphères à des températures différentes t_i et t_e .

Une certaine quantité ou flux de chaleur Φ traverse ce milieu matériel en s'écoulant de l'atmosphère la plus chaude t_i vers l'atmosphère la plus froide t_e .

Si l'on mesure les températures superficielles des faces du milieu matériel, on constate :

- Que la température t_{pi} de la face située du côté de l'atmosphère la plus chaude t_i est plus petite que la température t_i .
- Que la température t_{pe} de la face située du côté de l'atmosphère la plus froide t_e est plus grande que la température t_e .

Le flux de chaleur Φ qui traverse la surface S (m^2) de la paroi en une heure est :

* Proportionnel à la différence de la température $t_{pi}-t_{pe}$ entre les deux faces de la paroi ;

* Inversement proportionnel à son épaisseur (e) ;

* Proportionnel à un coefficient λ , appelé coefficient de conductivité thermique, qui caractérise le matériau constituant la paroi.

d'où l'expression du flux de chaleur :

$$\phi = (t_{p_i} - t_{p_e}) \frac{\lambda}{e} S \quad (\text{II.1.})$$

Remarque : en général la valeur du coefficient λ augmente avec la densité du matériau, la teneur en humidité et la température.

2.2.2. Convection :

Considérons pour un milieu matériel formant paroi, sa face intérieure à la température t_{pi} et l'air intérieur ambiant qui est à son contact et dont la température est t_i supérieure à t_{pi} .

Le flux de chaleur Φ_{ci} qui s'établit par convection entre, la surface S (m^2) de la paroi et l'air qui la touche est :

- Proportionnel à la différence de température t_i-t_{pi} ;
- Proportionnel à la surface S (m^2) ;
- proportionnel à un coefficient α_i , appelé coefficient de convection qui dépend de la vitesse, et de la masse spécifique de l'air ambiant, de la rugosité et de la forme de la paroi.

D'où le flux de chaleur par convection est exprimé par :

$$\phi_{c_i} = (t_i - t_{p_i}) \alpha_i S \quad (\text{II.2a})$$

Le coefficient α_i représente la puissance calorifique exprimée en $W/m^2 \cdot ^\circ C$ qui est transmise par l'air ambiant à la paroi par m^2 de la surface, pour un écart de température de $1^\circ C$.

Si l'on considère la face extérieure de la même paroi, à la température t_{pe} , et l'air extérieur ambiant à la température t_e inférieure t_{pe} , le flux de chaleur qui s'établit par convection est donné par la formule :

$$\phi_c = (t_p - t_e) \alpha_e S \quad (\text{II.2b})$$

Les unités de α_e étant les mêmes que celles de α , les valeurs de α_e varient entre 4,5 et de $7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ [3] ;

Celles de α_e sont fonction de la vitesse de l'air extérieur :

$$\alpha_e = 15 \sqrt{v} \quad ; v \text{ étant la vitesse de l'air en m/s [3].}$$

1.2-3. Rayonnement :

Dans un milieu où il existe des corps non en contact à températures différentes, il se produit entre ces divers corps un échange de chaleur par rayonnement (rayons infra rouges) ; le corps le plus chaud se refroidit, alors que le corps le plus froid se réchauffe.

Tout corps chaud en effet émet des radiations thermiques par sa surface ; cette émission se fait aux dépens de son énergie interne et provoque un abaissement de sa température.

Inversement tout corps froid reçoit le rayonnement des corps plus chauds qui l'entourent et transforme en chaleur tout ou une partie de ce rayonnement. Cet apport tend à élever sa température.

Ainsi on distingue les corps noirs qui absorbent ou renvoient intégralement toutes les radiations et les corps blancs qui n'absorbent ou ne renvoient qu'une gamme réduite de radiation.

Les flux de chaleur Φ_{ri} et Φ_{re} , qui s'établissent par rayonnement respectivement d'une part entre l'ambiance intérieure et la face intérieure de la paroi et d'autre part entre la face extérieure de la paroi et l'ambiance extérieur sont donnés par les formules :

$$\text{- parois intérieurs : } \Phi_{ri} = (t_i - t_{pi}) \cdot 0,85 \cdot r_i \cdot S \quad (\text{II.3a}) \quad [3]$$

$$\text{- parois extérieurs : } \Phi_{re} = (t_{pe} - t_e) \cdot 0,85 \cdot r_e \cdot S \quad (\text{II.3b}) \quad [3]$$

r_i et r_e sont les coefficients de rayonnement en $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
 t_i , t_{pi} , t_{pe} et t_e en degrés Celsius.

II.1.3. Transmission globale par la surface d'une paroi plane :

En réalité les trois modes de transfert de chaleur étudiés séparément sont inséparables en pratique.

Des considérations précédentes, il résulte qu'une paroi transmet par sa surface, la chaleur sous deux formes.

- Par convection ;
- Par rayonnement.

La quantité totale de chaleur transmise simultanément par convection et

Rayonnement est donc :

- pour la paroi intérieure les formules (II.2a) et (II.3a) :

$$\Phi = \Phi_{ci} + \Phi_{ri} = (t_i - t_{pi}) \cdot (\alpha_i + 0,85 \cdot r_i) \cdot S \quad (II.4)$$

- Pour la paroi extérieure les formules (II.2a) et (II.3b) :

$$\Phi = \Phi_{ce} + \Phi_{re} = (t_{pe} - t_e) \cdot (\alpha_e + 0,85 \cdot r_e) \cdot S \quad (II.5)$$

Si l'on pose : $\alpha_i + 0,85 \cdot r_i = h_i = 1/R_i$ et $\alpha_e + 0,85 \cdot r_e = h_e = 1/R_e$

On obtient donc les relations :

$$\Phi = (t_i - t_{pi}) \cdot h_i \cdot S = (t_i - t_{pi}) \cdot 1/R_i \cdot S \quad (II.4a)$$

$$\Phi = (t_{pe} - t_e) \cdot h_e \cdot S = (t_{pe} - t_e) \cdot 1/R_e \cdot S \quad (II.5a)$$

R_i et R_e étant les résistances thermiques superficielles unitaires et h_i et h_e les coefficients de transmissions thermique de la surface, (inverses des résistances thermiques).

II.1.4. Coefficient de transmission d'une paroi constituée par un matériau homogène.

Considérons la paroi d'un local constituée, par un matériau homogène, limitée par des faces parallèles, baignée sur une face l'air intérieur à la température t_i et sur l'autre face l'air extérieur à la température t_e .

L'échange calorifique à travers la paroi s'effectue comme suit :

- 1) transmission de la chaleur de l'air intérieur à la face interne de la paroi (Convection et radiations)
- 2) transmission de la chaleur à travers l'épaisseur de la paroi (conduction).
- 3) transmission de la chaleur de la face externe de la paroi à l'air extérieur (Convection des radiations).

Si l'on associe les égalités (II.1), (II.4a), (II.5a), on obtient la relation :

$$t_i - t_e = \Phi \cdot (1/h_i + e/\lambda + 1/h_e) \cdot 1/S = \Phi \cdot (e/\lambda + R_i + R_e) \cdot 1/S \quad (II.6)$$

si l'on pose :

$$1/k = (1/h_i + e/\lambda + 1/h_e) \text{ ou } 1/k = (e/\lambda + R_i + R_e)$$

on aboutit à la formule :

$$\Phi = (t_i - t_e) \cdot k \cdot S \quad (II.6a)$$

Qui donne l'expression du flux de chaleur et dans laquelle K est le coefficient de transmission thermique utile de la paroi considérée [3].

II.1.5. Coefficient de transmission d'une paroi hétérogène.

Si la paroi est constituée par des couches de matériaux hétérogènes, à faces planes parallèles, d'épaisseur respectives e_1, e_2, \dots, e_n et de coefficients de conductivité thermique respectifs $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$

Le coefficient de transmission k de la paroi composée est donné par l'expression :

$$1/k = e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2 + \dots + e_n/\lambda_n + R_i + R_e = \sum e/\lambda + R_i + R_e \quad (\text{II.7})$$

II.1.6. coefficient de transmission d'une paroi comportant des lames d'air non ventilées

On appliquera la formule :

$$1/k = \sum e/\lambda + R_i + R_e + R_t \quad (\text{II.8})$$

$\sum e/\lambda$ somme des résistances thermiques unitaires des couches homogènes.

R_i et R_e résistances thermiques superficielles unitaires.

R_t sommes des résistances thermiques unitaires des lames d'air non ventilé.

II.1.7. coefficient de transmission linéique

Nous n'avons considéré jusqu'ici que des flux de chaleur traversant perpendiculairement des surfaces, mais un local n'est pas parfaitement homogène et clos comme une boîte.

A chacune des liaisons analogues correspond un coefficient de transmission thermique linéique (et non surfacique) k .

La déperdition correspondante par degré d'écart de température est :

$$D = kL \quad (\text{II.9}) [4]$$

L est la longueur de la liaison mesurée des surfaces internes de murs.

II.2. Les besoins calorifiques

II.2.1. Généralités

Les besoins calorifiques d'un local sont une pure caractéristique de la construction, qui n'a rien à voir avec le système de chauffage projeté ou réalisé.

Quand les températures intérieures et les conditions climatiques extérieures restent inchangées (état stationnaire), les besoins calorifiques d'un bâtiment sont identiques à la somme de toutes les déperditions de chaleur à travers l'enveloppe extérieure des locaux chauffés. [5]

Ces déperditions sont de deux genres :

- D'une part à cause de température intérieure plus élevée, de la chaleur est en permanence perdue vers l'extérieur (déperditions calorifiques par transmission) par les parois, fenêtres, planchers. etc.....
- D'autre part par l'air qui traverse un bâtiment et réchauffé à la température intérieure entraîne avec lui à l'extérieur une partie de la chaleur de chauffage fournie (déperditions calorifiques par ventilation).

Les calculs de déperditions calorifiques par transmission sont relativement précis si toute fois les coefficients d'isolement des murs extérieurs, fenêtres, et planchers sont connus, par contre ceux des déperditions par ventilation sont approchés vu le manque d'étanchéité des fenêtres et portes et de l'influence du vent. [5]

II.2.2. Besoins calorifiques pour pertes par transmission

2.2.1 principe de calcul

La norme 4701 fait la distinction pour un local déterminé entre pertes calorifiques Q_0 et les besoins calorifiques Q_T correspondants à ces mêmes pertes [5].

Q_0 résulte de la somme des pertes par transmission globales de tous les éléments de l'enveloppe d'un local à la plus faible température extérieure.

Mais d'autres facteurs d'influence entrent en jeu sous forme de majorations.

Des déperditions calorifiques par transmission, on déduit les besoins calorifiques correspondants à ces pertes, en multipliant celles-ci par un coefficient de majoration Z , qui contient les majorations partielles suivantes :

Z_u pour l'interruption d'exploitation du chauffage.

Z_H pour l'orientation.

Z_A pour compensation des surfaces extérieures froides.

Pour les besoins calorifiques de transmission \dot{Q}_T on peut donc écrire :

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_0(1 + Z_u + Z_A + Z_H) = \dot{Q}_0 Z \quad (\text{II.10})$$

2.2.2 Les déperditions calorifiques par transmission \dot{Q}_0

Les besoins calorifiques par transmission \dot{Q}_0 se calculent pour chaque surface de l'enveloppe d'un local, cédant de la chaleur d'après les lois de la transmission globale de la chaleur en régime établi.

$$\dot{q}_0 = KS(t_i - t_a) \quad (\text{II.11})$$

où \dot{q}_0 : les déperditions calorifiques horaires de l'élément de construction en (Watt)

S : la surface de l'élément de construction en m^2

K : coefficient de transmission global de la chaleur en $\text{watt}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

t_i : température intérieure en $^\circ\text{C}$

t_a : température à l'extérieur ou dans le local voisin en $^\circ\text{C}$

Si $t_a > t_i$ c'est à dire si la température de l'air dans le local voisin est plus élevée,

le calcul de \dot{q}_0 donne une valeur négative c'est à dire un gain de chaleur. La somme des déperditions élémentaires \dot{q}_0 donne les déperditions par transmission \dot{Q}_0 de la totalité du local donc :

$$\dot{Q}_0 = \sum \dot{q}_0 \quad (\text{II.11a})$$

2.2.3. Choix des températures

La température intérieure à considérer est la moyenne entre la température radiante moyenne des parois et la température d'air. Elle est dite «température résultante sèche » T_{rs} .

Les valeurs minimales à adopter pour la température intérieure sont les suivantes :

- * Locaux d'habitation 18°C
- * Locaux à usages communs et circulations collectives 15°C
- * Les écoles 18 et 21°C
- * Hôpitaux 18°C (salles de malades), 24°C (salles d'opérations)
- * Bureaux 18°C
- * Magasins 21°C
- * Garages 5°C

Pour la température extérieure, elle est fonction de la région où le chauffage est utilisé, dans notre cas, elle est de 5°C pendant les mois de janvier et de février (BULLETIN MENSUEL d'information climatologique, 2001).

II.2.3. Les majorations

Toutes les majorations sont appliquées aux déperditions calorifiques par transmission de tout le local.

Une caractéristique importante pour toutes les propriétés d'un local en matière de chauffage est le coefficient D.

2.3.1. Le coefficient D

Physiquement, le coefficient D peut signifier la perméabilité moyenne de l'ensemble de l'enveloppe d'un local. Un coefficient D élevé, signifie un mauvais isolement calorifique, donc de grandes surfaces de murs extérieurs avec une faible valeur d'isolement et une forte proportion de fenêtres, un petit coefficient indique un bon isolement calorifique et une faible proportion de surfaces extérieures cédant de la chaleur par rapport aux surfaces d'enveloppe des locaux.

Le coefficient D d'un local se calcule par l'expression suivante :

$$D = \frac{\dot{Q}_0}{S_{tot}(t_i - t_a)} \quad (II.12)$$

S_{tot} est la surface totale de toutes les enveloppes des locaux, donc des murs extérieurs avec fenêtres, des murs intérieurs avec les portes, du plancher et de la couverture. Si un local ne perd de la chaleur qu'à travers ses murs extérieurs le coefficient D peut également s'écrire :

$$D = \frac{K_m S_a (t_i - t_a)}{S_{tot} (t_i - t_a)} = \frac{K_m S_a}{S_{tot}} \quad (II.4)$$

S_a est la surface des murs extérieurs, fenêtres comprises

K_m est le coefficient de transmission global moyen des parois extérieures.

2.3.2. La majoration Z_u pour l'interruption d'exploitation

Après des déductions et interruptions d'exploitation, la remontée en température d'un bâtiment n'est possible que grâce à des fournitures de chaleur momentanément accrues.

Le but des majorations Z_u est de permettre cette remontée en plus de l'exploitation, il faut distinguer les trois modes d'exploitations suivants :

- Mode d'exploitation 1 : exploitation continue avec réduction d'exploitation Nocturne.
- Mode d'exploitation 2 : interruption journalière de fourniture de chaleur d'une durée de 8 à 12 heures.
- Mode d'exploitation 3 : interruption journalière de fourniture de chaleur de 12 à 16 heures.

Les majorations Z_u augmentent avec la durée d'interruption d'exploitation. De petites valeurs de D demandent de grosses majorations et de grandes valeurs de D demandent de faibles majorations.

2.3.3. La majoration Z_a pour compensation des parois extérieures froides

Comme le confort de l'homme dans un local ne dépend pas de la température de l'air, mais également de la température moyenne de l'enveloppe du local, des locaux avec des parois extérieures grandes et minces ou avec des grandes fenêtres sont sur le plan climatique du local plus défavorables que d'autres avec des murs épais ou de petites fenêtres.

La température moyenne de l'enveloppe du local se trouve dans le coefficient D , car celui dépend du coefficient K moyen des parois extérieures et du rapport des dimensions des parois extérieures à la totalité de l'enveloppe du local.

Le coefficient D sert donc également de mesure aux majorations Z_a .

2.3.4. Regroupement de Z_a et Z_u

Les deux majorations dépendent du coefficient D et donc peuvent, malgré leur signification physique différente être regroupés pour le calcul en une seule majoration Z_D .

La majoration Z_D varie beaucoup moins avec le coefficient D que ses constituants.

Les valeurs de Z_D sont résumées dans le tableau A14 (voir pages annexes).

2.3.5. La majoration Z_H pour l'orientation :

Les valeurs des majorations qui doivent tenir compte des différences d'isolation sont résumées dans le tableau A14.

Pour l'appréciation de l'orientation d'un local, il faut retenir pour des locaux encastrés sur trois(3) faces la position de la paroi extérieure et pour des locaux d'angle, la direction du coin de la maison.

Pour des pièces avec trois ou quatre murs extérieurs, il faut prendre pour chacune d'elles la majoration la plus élevée. Pour des parties de bâtiments sans

influence solaire directe, le coefficient de majoration pour l'orientation est supprimée.

II.2.4. Les besoins calorifiques pour pertes par ventilation :

2.4.1. Les principes de calcul :

La quantité d'air qui pénètre sous l'effet du vent dans un local par les jointures des portes et fenêtres fermées, dépend des dimensions des zones non étanches des parties de bâtiment situées au vent et des différences de pression entre l'extérieur et l'intérieur. Sur la face extérieure, règne dans le cas le plus défavorable ; direction du vent perpendiculaire une pression dynamique correspondant à la vitesse du vent à l'intérieur s'établit une pression qui est influencée par la résistance à l'écoulement du volume d'air introduit ainsi que par une éventuelle pression sur les faces de l'immeuble non touchées par le vent.

Pour caractériser les particularités d'un immeuble, dues à sa situation, son lieu et son mode de construction, on utilise «la caractéristique d'immeuble » H. Les résistances à l'écoulement d'air sont une «caractéristique de local » R [4]

Les besoins calorifique pour les pertes par ventilation d'un local se calculent par l'expression suivante :

$$\dot{Q}_L = \sum (aL)_A RH(t_i - t_a)Z_E \quad (\text{Watt}) \quad (\text{II.13})$$

$\sum (aL)_A$: La perméabilité des fenêtres et portes au vent ;

R : caractéristique du local ;

H : caractéristique d'immeuble ;

$t_i - t_a$: la différence de température entre l'air intérieur et extérieur.

Z_E : le facteur de majoration pour des fenêtres d'angle.

2.4.2. Perméabilité des fenêtres et portes $\sum (aL)$

Si on désigne par a la perméabilité à l'air d'un joint de fenêtre ou de porte par mètre de longueur pour une différence de pression donnée, la perméabilité de toutes les fenêtres et portes ayant chacune des joints d'une longueur L et exposées au vent dans les conditions les plus défavorables est donnée par :

$$\sum (aL)_A$$

Le tableau A15 (voir pages annexes) indique les valeurs de la perméabilité spécifique à l'air a des plus importants types de fenêtres et de portes.

2.4.3. Caractéristique de local R :

La caractéristique de local dépend de la perméabilité de toutes les fenêtres et portes exposées au vent, ainsi que la perméabilité des fenêtres et portes pour lesquelles l'air peut s'écouler du local qu'on désigne par $\sum(aL)_N$:

$$R = \frac{1}{\frac{\sum(aL)_A}{\sum(aL)_N} + 1} \quad (\text{II.14})$$

Dans la plupart des cas l'air ne s'écoule d'un local exposé au vent que par les portes intérieures. Ainsi donc les dimensions de ces portes et de leur étanchéité sont déterminantes pour le calcul de $\sum(aL)_N$.

On peut prendre la valeur de R dans le tableau A16 (voir pages annexes) au lieu de passer par la formule précédente.

2.4.4. Caractéristique d'immeuble H :

La caractéristique d'immeuble H est donnée par le tableau A17 (voir pages annexes) pour divers genres de constructions et influence du vent.

En ce qui concerne la situation d'un local par rapport à l'action du vent, on distingue trois cas :

- Site protégé :

C'est le cas des centres de villes de construction serrée.

- Site découvert :

C'est le cas des maisons dans les cités ou les ensembles de bâtiments sont clairsemés.

- Site exceptionnellement découvert :

Ce sont des maisons isolées construites sur des hauteurs, sur des bandes côtières sans arbres.

2.4.5. La majoration pour fenêtres d'angle Z_E :

Ce facteur n'est à envisager que pour des fenêtres et portes situées immédiatement dans l'angle de deux murs extérieurs contigus : $Z_E=1,2$

Pour toute autre porte et fenêtre :

$$Z_E = 1,0$$

II.2.5. Calcul des besoins calorifiques :

Les besoins calorifiques d'un local se calculent par :

$$\dot{Q} = \dot{Q}_T + \dot{Q}_L = \dot{Q}_0(1 + Z_D + Z_H) + \dot{Q}_I \quad (\text{Watt}) \quad (\text{II.15})$$

2.5.1. Besoins calorifiques de transmission :

Les abréviations suivantes sont utilisées pour caractériser les éléments de la construction :

FS : fenêtres simples	PE : portes extérieures
FC : fenêtres composées	MI : murs intérieurs
FD : fenêtres doubles	ME : murs extérieurs
FZ : fenêtres à double vitrage	B : plancher
IS : imposte simple	H : plafond
ID : imposte double	C : couverture.
PI : portes intérieures	

2.5.2. Besoins calorifiques de ventilation :

Ce calcul commence par la recherche de la direction du vent la plus défavorable pour chaque local.

On détermine les fenêtres et portes exposées à introduire dans le calcul.

2.5.3. Données nécessaires pour le calcul :

Pour le calcul des besoins calorifiques, les données suivantes sont nécessaires :

- Plan de situation du bâtiment :
Indication sur l'orientation et l'exposition au vent.
Indication aussi sur la hauteur des bâtiments voisins et sur d'autres facteurs d'influences.
- Plan du bâtiment :
Détails sur les dimensions de construction y compris les mesures intérieures des fenêtres et portes.

Détails sur les dimensions de construction y compris les mesures intérieures des fenêtres et portes.

L'Indication sur les hauteurs libres des locaux et les hauteurs d'étages ainsi que des hauteurs des portes et fenêtres.

- Données sur les types de murs, planchers et couvertures.
- Données sur les fenêtres et portes :

Construction des fenêtres (simples, composées ou doubles), leurs matériaux (bois, acier etc.).

- Données sur la destination des locaux, y compris un tableau des heures d'utilisation (heure de chauffage à pleine puissance), car le mode d'exploitation de l'installation et les majorations pour le calcul des besoins calorifiques sont à fixer en conséquence.

II.2.6. Apports gratuits (besoins de chauffage) :

Les besoins de chauffage d'un bâtiment sont sensiblement inférieurs à ses déperditions car certains apports de chaleur lui parviennent autrement que ceux dû au chauffage ; on les appelle apports gratuits :

- Equipement des logements, fours, moteurs électriques, fer à repasser, télé, condenseur des armoires frigorifiques et les occupants eux-mêmes, génèrent de la chaleur ; ce sont les apports internes ;
- Le rayonnement solaire traverse les vitrages et échauffe les murs qu'il atteint : ce sont les apports externes.

Ces apports doivent être déduites des déperditions pour la détermination des besoins. [3]

II.2.7. Exemple de calcul des besoins calorifiques :

Puisque notre travail porte sur l'étude d'un chauffage domestique utilisant le grignon d'olive comme combustible, nous avons pris comme exemple de plan de construction de la wilaya de Tizi Ouzou.

Notre maison est une villa sans niveau c'est à dire sans étage dont les détails seront portés sur le plan ci-dessous.

Pour le calcul des besoins calorifiques de cette maison (maison individuelle), les hypothèses suivantes sont nécessaires :

- Température extérieure +5 °C.
- Température des locaux :
- * Chambre à coucher, salle de séjour, chambre des enfants +20 °C ;
- * Couloir, cuisine, salle de bains +18 °C ;
- * Garage +5°C.

Les données sont :

- Hauteur des locaux : 2,45m ;

brute 1200kg/cm^3 ;

- Murs intérieurs : parpaing creux en béton léger à 2 trous, 24cm, densité brute 1200kg/cm^3 , dalle de cloison en béton léger 5cm, densité brute 800kg/cm^3 ;
- Toit en tuile ;
- fenêtres : double en bois à 2 vantaux ;
- Portes intérieures sans seuil ;
- Condition du vent : région normale, site particulièrement dégagé, maison Individuelle de 100m^2 ;
- Mode d'exploitation : I, exploitation ininterrompue, toutefois avec réduction Nocturne, ce choix est justifié car ce mode d'exploitation est recommandé pour les locaux d'habitation.

Tout le reste, y compris l'orientation découle du plan pour l'exemple de calcul est résumé dans la figure II.1 (page 21).

Les coefficients de transmission K ; les tableaux A18 et A19 (voir pages annexes) nous permettent de lire :

- * Pour les portes intérieures et extérieures $K_{PI}=K_{PE}=2,0 \text{ watt/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- * Pour les fenêtres doubles en bois $K_{FD}=2,0 \text{ watt/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- * Pour les murs extérieurs de 24cm d'épaisseur $K_{ME}=1,23 \text{ watt/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- * Pour les murs intérieurs de 24cm d'épaisseur $K_{MI}=1,11 \text{ watt/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.
- * Pour les murs intérieurs de 5cm d'épaisseur $K_{MI}=1,19 \text{ watt/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Le tableau A15_a donne pour la perméabilité des joints d'une fenêtre double en bois $\alpha=2,0$ [pour une longueur de joints de 8,0 ; 6,0 et 4,0 m]

Portes intérieures sans seuil $\alpha=40,0$ [pour une longueur de joints de 10 et 8m].

La caractéristique d'immeuble d'après le tableau A17 ; $H=0,58$.

Le tableau ci-dessous résume les valeurs de R et celles des besoins calorifiques pour pertes par ventilation.

N° du local	Caractéristique du local R	\dot{Q}_L (Watt)
1	0,90	435,97
2	0,96	116,25
3	0,97	78,31
4	0,97	78,31
5	0,96	116,25
6	1,00	161,47

Tableau II.1 : Les valeurs de R et celles des besoins calorifiques pour pertes par ventilation.

Les besoins calorifiques pour pertes par transmission des différents locaux sont regroupés dans le tableau II.2.

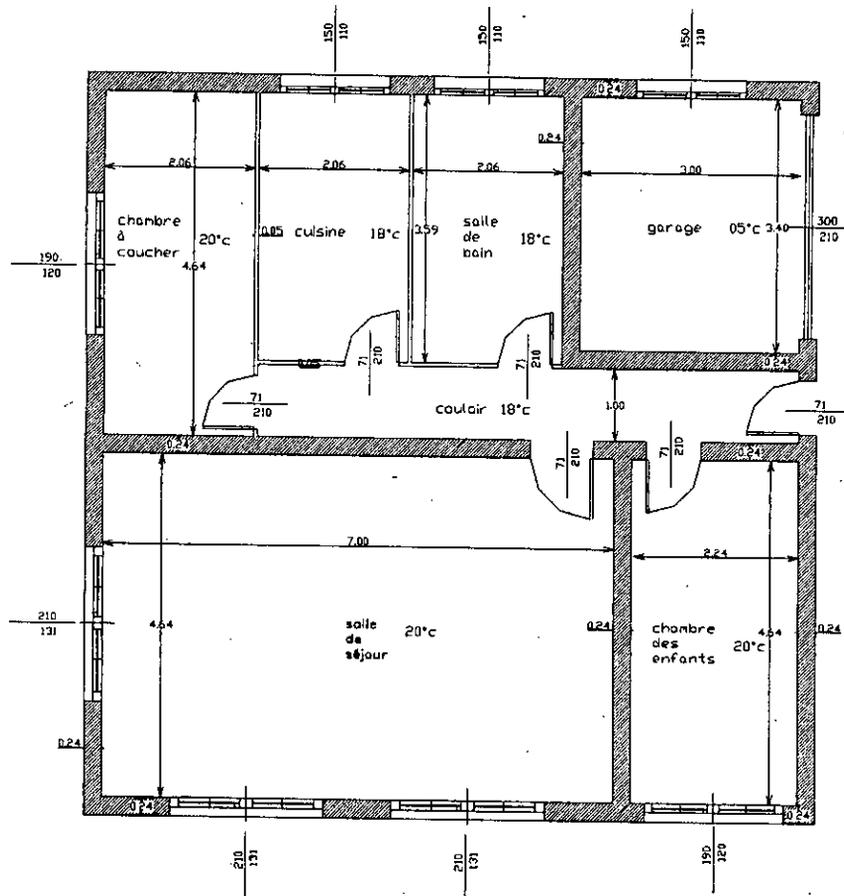


Figure II.1 : plan pour l'exemple de calcul

Abréviations	ME	ME	MI	PI	FD	FD	H	
Orientation	S	O	-	-	S	O	-	
Epaisseur(cm)	24	24	24	-	-	-	-	
Longueur(m)	7	4,64	7	0,81	2,1	2,1	7	
Hauteur(m)	2,45	2,45	2,45	2,1	1,31	1,31	4,64	
Surface(m ²)	17,5	11,37	17,5	1,7	2,75	2,75	32,5	
Nombre	1	1	1	1	2	1	1	
Déduction(m ²)	5,5	2,75	6,75	-	-	-	-	
Chiffre à retenir	12	8,62	10,75	1,7	5,5	2,75	32,5	
Coefficient K(watt/m ² . °C)	1,23	1,23	1,11	2	2	2	3,5	
Différence de température	15	15	2	2	15	15	15	
KΔt	18,45	18,45	2,22	4	30	30	52,5	
Déperdition \dot{Q}_0 (Watt)	256,82	184,60	27,60	7,88	191,4	95,7	1979,25	
Majoration								2364,79
Z _D (%)								+7
Z _H (%)								-5
Z=1+Z _D +Z _H								1,02
\dot{Q}_T (Watt)								2798,01

Tableau II.2.a. Besoins calorifiques pour pertes par transmission du local 1:

Abréviations	ME	ME	MI	PI	FD	H	
Orientation	O	N	-	O	-	-	
Epaisseur(cm)	24	24	5	-	-	-	
Longueur(m)	4,64	2,06	4,64	1,9	0,71	4,62	
Hauteur(m)	2,45	2,45	2,45	1,2	2,1	2,06	
Surface(m ²)	11,37	5,05	11,37	2,3	1,5	5,05	
Nombre	1	1	1	1	1	1	
Déduction(m ²)	2,3	-	1,5				
Chiffre à retenir	9,07	5,05	11,37	2,3	1,5	5,05	
Coefficient K(wattl/m ² .°C)	1,23	1,23	1,19	2	2	3,5	
Différence de température	15	15	2	15	2	15	
KΔt	18,45	18,45	2,38	30	4	52,5	
Déperdition \dot{Q}_0 (Watt)	194,11	108,07	43,5	80,04	6,94	307,53	
Majoration							723,99
Z _D (%)							7
Z _H (%)							5
Z=1+Z _D +Z _H							1,12
\dot{Q}_T (Watt)							810,87

Tableau II.2.b. Besoins calorifiques pour pertes par transmission du local 2 :
Chambre à coucher

Abréviations	ME	MI	FD	PI	H	
Orientation	N	-	N	-	-	
Epaisseur(cm)	24	5	-	-	-	
Longueur(m)	2,06	3,59	1,5	0,71	2,06	
Hauteur(m)	2,45	2,45	1,1	2,1	3,59	
Surface(m ²)	5,05	9,34	1,65	1,5	7,89	
Nombre	1	1	1	1	1	
Déduction(m ²)	1,65	-	-	-	-	
Chiffre à retenir	3,4	9,34	1,65	1,5	7,89	
Coefficient K(watt/m ² .°C)	1,23	1,19	2	2	3,5	
Différence de température	13	-2	13	0	13	
KΔt	16	-2,38	26	-	45,5	
Déperdition \dot{Q}_0 (Watt)	63,10	-25,77	49,76	-	416,44	
Majoration						503,53
Z _D (%)						7
Z _H (%)						5
Z=1+Z _D +Z _H						1,12
\dot{Q}_T (Watt)						563,95

Tableau II.2.c. Besoins calorifiques pour pertes par transmission du local 3 : Cuisine.

Abréviations	ME	MI	FD	H	
Orientation	N	-	N	-	
Epaisseur(cm)	24	24	-	-	
Longueur(m)	2,06	3,4	1,5	2,06	
Hauteur(m)	2,45	2,45	1,1	3,59	
Surface(m ²)	5,05	8,92	1,65	7,89	
Nombre	1	1	1	1	
Déduction(m ²)	1,65	-	-	-	
Chiffre à retenir	3,4	8,92	1,65	7,89	
Coefficient K(watt/m ² .°C)	1,23	1,11	2	3,5	
Différence de température	13	13	13	13	
KΔt	16	14,43	26	45,5	
Déperdition \dot{Q}_0 (Watt)	63,10	149,30	49,76	416,44	↓
Majoration					678,6
Z _D (%)					7
Z _H (%)					5
Z=1+Z _D +Z _H					1,12
\dot{Q}_T (Watt)					760,03

Tableau II.2.d. Besoins calorifiques pour pertes par transmission du local 4 :
Salle de bain.

Abréviations	ME	ME	MI	FD	PI	H	
Orientation	S	E	-	S	-	-	
Epaisseur(cm)	24	24	24	-	-	-	
Longueur(m)	2,28	4,64	2,28	1,9	0,71	2,28	
Hauteur(m)	2,45	2,45	2,45	1,2	2,1	4,64	
Surface(m ²)	5,59	11,37	5,59	2,28	1,5	10,58	
Nombre	1	1	1	1	1	1	
Déduction(m ²)	2,28	-	1,5	-	-	-	
Chiffre à retenir	3,31	11,37	4,09	2,28	1,5	10,58	
Coefficient K(watt/m ² .°C)	1,23	1,23	1,11	2	2	3,5	
Différence de température	15	15	2	15	2	15	
KΔt	18,45	18,45	2,22	30	4	52,5	
Déperdition \dot{Q}_0 (Watt)	70,84	243,33	10,52	79,34	6,95	644,32	
Majoration							1054,44
Z _D (%)							7
Z _H (%)							-5
Z=1+Z _D +Z _H							1,02
\dot{Q}_T (Watt)							1075,51

Tableau II.2.e. Besoins calorifiques pour pertes par transmission du local 5:
Chambre des enfants.

Abréviations	ME	MI	MI	PI	PI	PE	H	MI
Orientation	E	-	-	-	-	E	-	-
Epaisseur(cm)	24	24	24	-	-	-	-	5
Longueur(m)	1	7,94	3,24	0,81	0,71	0,71	7,94	1
Hauteur(m)	2,45	2,45	2,45	2,1	2,1	2,1	1	2,45
Surface(m ²)	2,45	19,45	7,93	1,7	1,5	1,5	7,94	2,45
Nombre	1	1	1	1	2	1	1	1
Déduction(m ²)	1,5	3,2	-	-	-	-	-	1,5
Chiffre à retenir	0,95	16,25	7,93	1,7	1,5	1,5	7,94	0,95
Coefficient K(watt/m ² .°C)	1,23	1,11	1,11	2	2	2	3,5	1,19
Différence de température	13	-2	13	-2	-2	13	13	-2
KΔt	16	-2,22	14,43	-4	-4	26	45,5	-2,38
Déperdition \dot{Q}_0 (Watt)	17,63	-41,84	132,73	-7,88	-6,95	45,24	419,07	-2,73
Majoration								555,37
Z _D (%)								7
Z _H (%)								0
Z=1+Z _D +Z _H								1,07
\dot{Q}_T (Watt)								594,24

Tableau II.2.f. Besoins calorifiques pour pertes par transmission du local 6 :
Couloir.

Chapitre 3

Chauffages Centraux

III.1.1. Caractéristiques des chauffages centraux

Les chauffages centraux sont caractérisés par le fait qu'ils ne possèdent, pour le chauffage d'un ensemble de locaux, qu'un foyer et que la chaleur produite est transformée jusqu'à chacun des locaux par un fluide véhiculaire. Comme fluide véhiculaire, on utilise l'eau, la vapeur ou l'air, si bien que les chauffages centraux se divisent en chauffages centraux «à eau chaude», «à vapeur» ou «par air chaud».

Le foyer est généralement installé en sous-sol dans un local appelé chaufferie.

Avantages des chauffages centraux :

- Le nombre de foyers et de conduits de fumée est diminué ;
- Les transports de combustible et de cendre dans les habitations sont supprimés ;
- Le rendement de la combustion est élevé ;
- Enfin l'encombrement des corps de chauffe est réduit.

Inconvénients : les dépenses d'installation, d'entretien et de conduite sont élevées.

III.1.2. Types de chauffages :**2.1. Chauffage à eau chaude :**

Les chauffages à eau chaude utilisent l'eau comme fluide véhiculaire. L'eau réchauffée dans les chaudières est amenée par des canalisations jusqu'aux corps de chauffe, où elle se refroidit en cédant de la chaleur, puis revient aux chaudières à partir desquelles le cycle recommence.

On distingue :

Suivant la cause créant le mouvement de l'eau :

- Les chauffages à circulation naturelle (par gravité ou par thermosiphon) ;
- Les chauffages à circulation accéléré (par pompe ou par accélérateur).

Suivant la communication avec l'atmosphère :

- Les chauffages ouverts ;
- Les chauffages fermés.

Suivant le système de tuyauteries :

- Les chauffages à un tuyau ;
- Les chauffages à deux tuyaux.

Suivant l'emplacement des canalisations principales :

- Les chauffages à distribution supérieure ;
- Les chauffages à distribution inférieure.

Il existe aussi certains chauffages spéciaux utilisant l'eau chaude avec mélange de vapeur.

Les chauffages à eau chaude sont les plus répandus de tous les systèmes.

2.2. Chauffage à vapeur :

Dans les chauffages à vapeur, le fluide véhiculaire utilisé est la vapeur d'eau.

La vapeur produite dans les chaudières est conduite jusqu'aux corps de chauffe par un réseau de canalisations, s'y condense en cédant sa chaleur latente de vaporisation et retourne sous forme d'eau aux chaudières, à partir desquelles le cycle recommence.

On distingue :

Suivant la pression :

- Les chauffages à vapeur basse pression ;
- Les chauffages à vapeur haute pression ;
- les chauffages à vapeur à pression sous-atmosphériques.

Suivant le système de tuyauteries :

- Les chauffages à un tuyau ;
- Les chauffages à deux tuyaux.

Suivant l'emplacement des canalisations principales :

- Les chauffages à distribution supérieure ;
- Les chauffages à distribution inférieure.

Suivant l'emplacement des canalisations d'eau condensée :

- Chauffage à retours secs ou supérieures ;
- Chauffage à retours noyés ou inférieurs.

Suivant le mode de circulation de l'eau condensée :

- Les chauffages à retour par gravité ;
- Les chauffages à retour forcé.

2.3. Chauffage par air chaud :

Ces modes de chauffages utilisent l'air comme fluide véhiculaire.

L'air réchauffé dans les appareils de production est, soit conduit par un réseau de gaines appropriées, soit soufflé directement dans les locaux à chauffer, s'y refroidit et est évacué en totalité à l'extérieur, ou replit partiellement ou en totalité et ramené à l'appareil de production d'air chaud, et le cycle recommence.

On distingue :

Suivant la force qui provoque le mouvement de l'air :

- Les chauffages à air chaud à circulation naturelle ;
- les chauffages à air chaud pulsé, soit par générateurs individuels, soit par des aérothermes .

Suivant la provenance de l'air :

- Les chauffages par air neuf dans lesquels l'air est entièrement pris à l'extérieur ;

- les chauffages par roulement dans lesquels l'air est totalement repris dans les pièces ;
- Les chauffages mixtes, dans lesquels on opère un mélange d'air neuf et d'air de reprise.

III.1.3. Choix du type de chauffage :

Le coût de l'installation, le mode d'exécution, le type de construction, ce sont des facteurs qui entrent dans le choix du type de chauffage à adopter.

On impose au fluide véhiculaire certaines conditions à savoir :

- Une bonne accumulation de chaleur ;
 - Un pouvoir d'écoulement acceptable ;
 - une composition chimique neutre (pour éviter la corrosion des canalisations).
- L'eau satisfait à ces conditions, dans notre cas nous opterons pour un chauffage à eau chaude d'autant plus que l'eau est très abondante dans la nature.

Cependant il est utile de traiter l'eau avant son utilisation pour éviter l'entartrage des conduites d'eau chaude.

Dans le chauffage à eau chaude la circulation du fluide peut être causée uniquement par la différence de masse volumique entre l'eau chaude et l'eau froide ; c'est le chauffage à circulation naturelle (par gravité ou par thermosiphon).

Dans le cas où cette circulation serait accélérée par une pompe ou un accélérateur ; On est en présence d'un mode de chauffage à eau chaude à circulation accélérée.

Pour une installation d'une moindre importance comme la notre, le système thermosiphon convient bien.

3.1. Chauffage à eau chaude à circulation naturelle :

Le mouvement de l'eau est uniquement causé par la différence volumique entre l'eau chaude et l'eau froide.

La dilatation de l'eau par suite de son réchauffage est absorbée dans un vase d'expansion.

L'installation peut être soit ouverte soit fermée.

Pour l'installation ouverte, le vase d'expansion est en relation avec l'atmosphère, si bien qu'il ne se produise aucune augmentation dangereuse de la pression.

Dans les chauffages à eau chaude fermés, il n'existe aucune relation avec l'atmosphère ; le vase d'expansion ne comporte donc aucune communication avec l'air libre.

3.1.1. Disposition générale des tuyauteries :

a. Chauffage à un tuyau :

L'eau provenant de la chaudière s'élève dans la colonne de départ verticale jusqu'à une canalisation horizontale de distribution.

De cette dernière, partent des colonnes descendantes sur lesquelles sont branchés les corps de chauffe situés les uns au-dessus des autres.

Ces corps de chauffe peuvent être branchés, soit en série, soit en parallèle. Les corps supérieurs reçoivent donc l'eau la plus chaude et les corps inférieurs de l'eau légèrement refroidie.

Au point le plus élevé de l'installation se trouve le vase d'expansion. Comme le fonctionnement de chaque corps de chauffe est influencé par celui des autres, cette disposition des tuyauteries est très rarement utilisée, elle paraît cependant connaître un renouveau en raison des économies d'installations qui, en principe, en résultent, et surtout en raison généralisée des accélérateurs, qui facilitent la circulation de l'eau chaude. [3].

b. Chauffage à deux tuyaux :

Dans le chauffage à deux tuyaux, on distingue les systèmes à distributions inférieure (ou en chandelle ou par en dessous) et supérieure (ou en parapluie ou par en dessus).

Dans la distribution inférieure, les canalisations principales de départ et de retour sont installées au plafond du sous-sol ; le départ comporte une pente ascendante depuis la chaudière jusqu'à la colonne montante la plus éloignée, et le retour une pente descendante depuis la colonne verticale la plus éloignée jusqu'à la chaudière.

Les corps de chauffe sont raccordés au système de distribution par des colonnes verticales montantes et descendantes.

Dans la distribution supérieure, l'eau est tout d'abord conduite dans une canalisation principale horizontale installée à l'étage le plus élevé ou dans les combles, et des colonnes descendantes piquées sur cette dernière desservent les différents corps de chauffe.

Les colonnes verticales de retour sont branchées sur une canalisation horizontale commune de retour installée au plafond du sous-sol, comme pour les distributions inférieures.

La distribution inférieure est meilleure marché, d'où pour notre projet nous opterons pour cette dernière.

c. Evacuation de l'air :

Une évacuation correcte de l'air est indispensable pour un fonctionnement normal de l'installation.

Dans les distributions inférieures, un réseau de purge d'air doit être établi depuis le point le plus élevé des colonnes montantes jusqu'au vase d'expansion. Pour éviter l'établissement de circulations intempestives, il faut ménager des ponts d'air.

On peut utiliser plus simplement, au lieu d'un réseau de purges, des purgeurs d'air manuels à robinet ou à clé, ou automatiques installés directement sur les corps de chauffe.

3.1.2. Corps de chauffe :

Les corps de chauffe cèdent à l'atmosphère du local une partie de la chaleur de l'eau qui les traverse.

Dans notre cas, nous utiliserons les radiateurs dont l'emploi est aujourd'hui le plus fréquent. Les radiateurs se construisent en fonte, en acier ou en aluminium. En général, les radiateurs sont placés sur consoles. Les radiateurs fontes peuvent être placés sur pieds.

Les éléments sont constitués par des colonnes, ou des capacités creuses et collectées à la partie haute et basse.

Le coefficient K d'échange des radiateurs est donné par la formule classique :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e} \quad (\text{III.1.})$$

h_i : coefficient de surface intérieure est de l'ordre, compte tenu des faibles vitesses de l'eau dans les radiateurs, de $100 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$.

h_e : coefficient de surface extérieure peut être estimé à environ $10 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$.

$\frac{e}{\lambda}$: pour un radiateur en fonte est de l'ordre de $0,003/50$.

D'où :

$$\frac{1}{K} = \frac{1100,6}{10000}$$

a. Caractéristiques des radiateurs :

Les radiateurs fontes étant des modèles courants, leurs caractéristiques sont regroupées sous forme de tableaux.

Le tableau III.7 (voir page annexes) donne la surface des radiateurs fonte, pour un élément en fonction de sa hauteur et du type de radiateurs.

b. Le coefficient K :

D'après les constructeurs les coefficients « moyens » des radiateurs fonte pour $T_m - T_i = 60^\circ\text{C}$ sont tabulés et le tableau III.8 (voir page annexes) donne les valeurs de K suivant le type de radiateur et le fluide véhiculaire (l'eau ou vapeur)

c. Calcul des radiateurs :

Suivant les déperditions des locaux, nous calculerons les surfaces des radiateurs à utiliser.

Pour calculer les radiateurs nous nous donnerons un type de radiateur, ici nous opterons pour type n°4 de 93 cm de hauteur, ce qui nous permet de lire la surface par élément de $0,30 \text{ m}^2$ d'après le tableau A20 (voir pages annexes) [7]. Pour le local 1, la déperdition est de : 3233,92 Watts ; $t_i = 20^\circ\text{C}$, l'eau est en moyenne à 80°C .

De l'équation :

$$Q = K_1 S_1 (T_m - t_i) \quad \text{on tire}$$

$$S_1 = \frac{Q}{K_1 (T_m - t_i)} \quad (\text{III.2})$$

Le tableau ~~A21~~^{III.8} (voir pages annexes) nous permet de lire $K=7,4 \text{ kcal/h.m}^2.\text{°C}$;

$$T_m = \frac{80 + 60}{2} = 70^\circ\text{C}$$

D'où :

$$S_1 = 7,43 \text{ m}^2$$

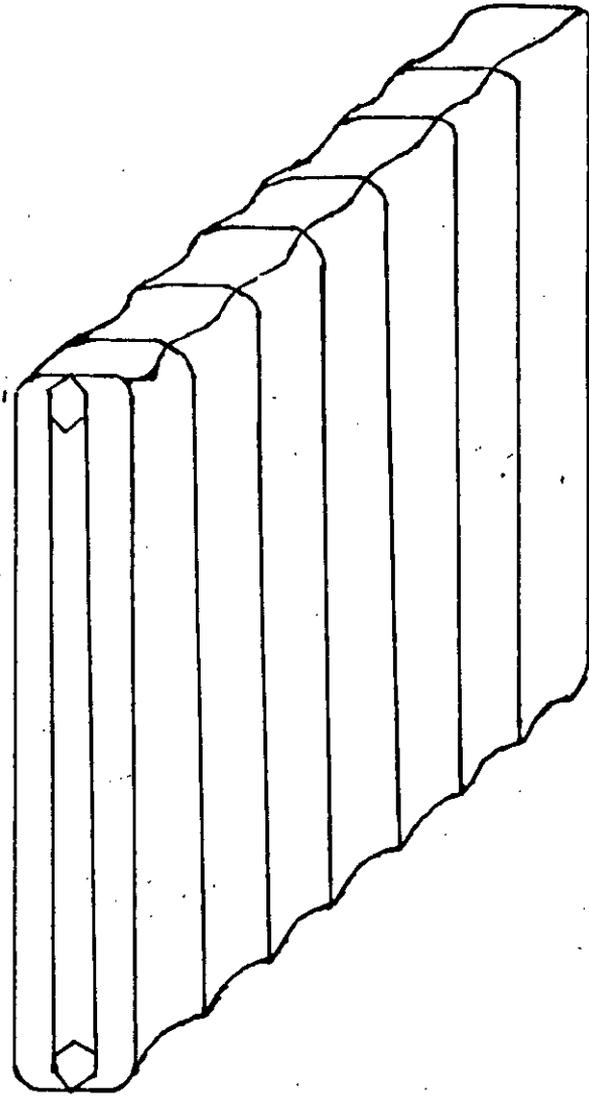
Le nombre d'éléments nécessaire : $\frac{7,43}{0,30} = 24,78 \approx 25$ par excès.

On notera le type 25.4.93

Pour le reste du calcul, le tableau III.1 regroupe les résultats.

Local	Déperdition (Watt)	T(°C)	Chute (°C)	T _m	t _i	Δt	K	KΔt	S(m ²)	Type
1	3233,98	80	20	70	20	50	7,5	375	7,43	25.4.93
2	927,17	80	20	70	20	50	8,5	425	1,88	12.2.93
3	642,26	80	20	70	18	52	8	416	1,33	7.3.78
4	838,34	80	20	70	18	52	8	416	1,73	9.3.78
5	1191,77	80	20	70	20	50	8,5	425	2,41	13.2.107
6	755,71	80	20	70	18	52	7,5	390	1,67	9.4.61

Tableau (III.1) : Résumé du calcul des radiateurs.



Radiateur à éléments en fonte

III.2. Calcul des diamètres de la tuyauterie :

Les éléments de mécanique des fluides nous permettent de mettre en évidence les lois et formules de pertes de charge et d'écoulement des fluides. Nous savons que la perte de pression ΔP s'exprime par la relation :

$$\Delta P = \sum jL + \sum \frac{rv^2 \varpi}{2g} \quad (\text{III.3})$$

Dans la quelle :

L est la longueur de la section partielle en m

v est la vitesse en m/s

ϖ est le poids spécifique en kg/m^3

r est le module de résistance

g est la pesanteur en m/s^2

Les valeurs de j (coefficient linéaire de frottement) et de $\frac{v^2 \varpi}{2g}$ sont obtenues par

la lecture de l'abaque III.1 (voir pages annexes) en fonction du débit et du diamètre.

Le problème de détermination des diamètres revient donc en définitive à choisir un diamètre pour chaque tronçon⁽¹⁾ (voir figure III.1 page 37) de telle manière que nous obtenions :

$$\Delta P_m = \Delta P \quad (\text{III.4})$$

ΔP_m étant la pression motrice ou disponible.

Pour les installations par thermosiphon, nous avons :

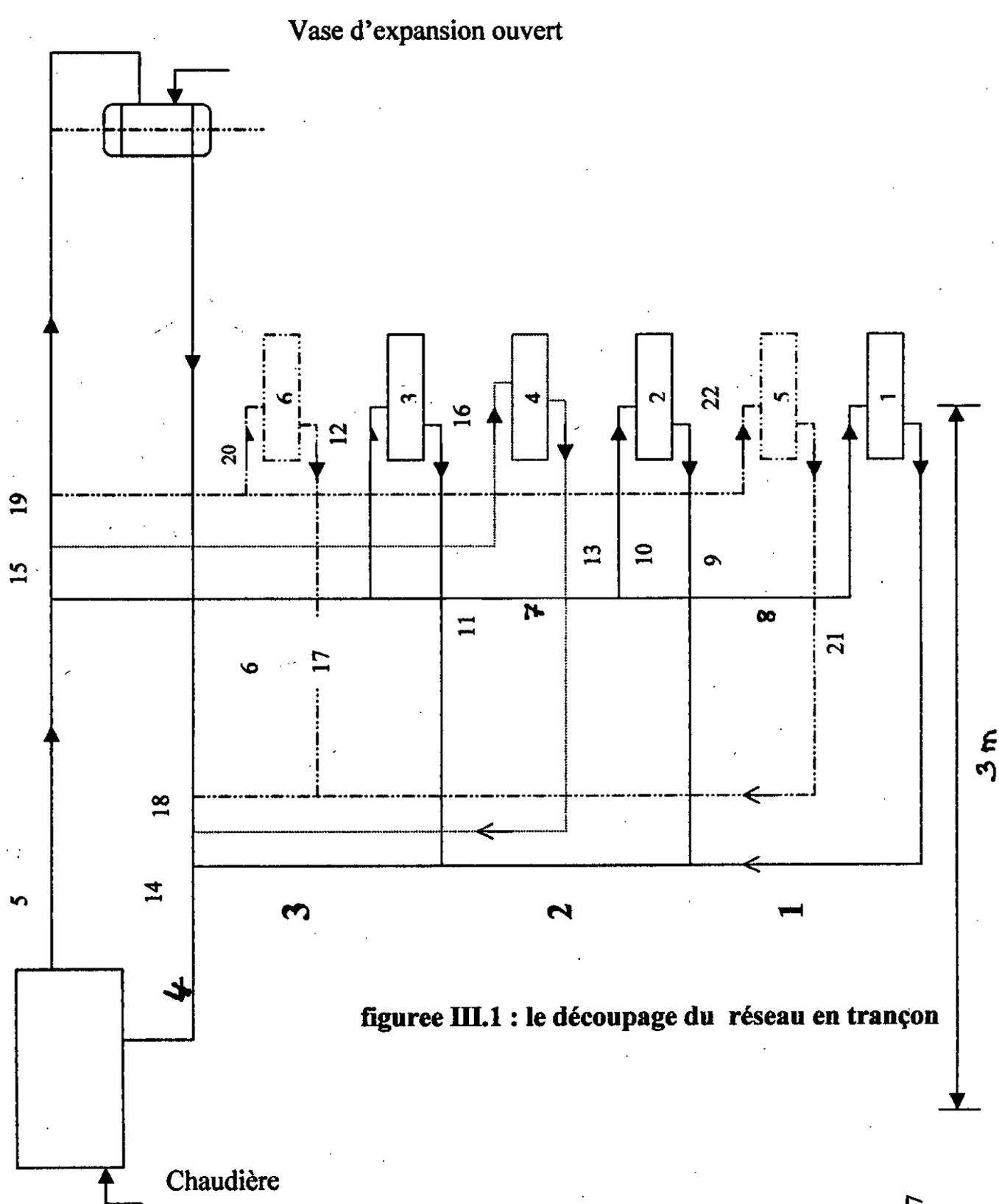
$$h(\varpi_2 - \varpi_1) = \sum jl + \sum \frac{rv^2 \varpi}{2g} \quad (\text{III.5})$$

La pression motrice ΔP_m sert à vaincre les résistances de frottement $\sum jl$ et les résistances locales $\sum \frac{rv^2 \varpi}{2g}$.

l : représente la longueur en mètre du circuit (départ et retour).

r : représente le coefficient de chaque obstacle rencontré.

¹: Un tronçon est une portion de réseau limitée par deux tés successifs.



figuree III.1 : le découpage du réseau en trançon

Le calcul des diamètres se résume à utiliser les lois des principes physiques de telle manière qu'ayant obtenu l'égalité de pression disponible et pertes de pression le débit réel corresponde exactement au débit calculé. [7]

Pour cela il faut :

- Principe n°1 :

La pression motrice doit être égale ou légèrement supérieure (au maximum 10%) à la pression du réseau.

Pour calculer les diamètres du circuit on commencera toujours par calculer ceux du circuit alimentant le radiateur le plus défavorisé ; en général en thermosiphon, il s'agit du radiateur le plus bas et le plus éloigné car c'est le radiateur qui a le plus petit j et qui à puissance égale demande le plus gros diamètre d'où l'énoncé :

- Principe n°2 :

C'est le radiateur défavorisé qui commande toute l'installation.

- Principe n°3 :

Ce principe s'intitule : principe de l'indépendance des circuits et qui s'énonce ainsi :

Dans le circuit de chaque radiateur, l'eau se déplace sous la pression à dépenser aux tés de bifurcations pour l'équilibrage des circuits.

Etant donné la complexité du calcul des diamètres du chauffage à eau chaude, on ne peut arriver à la solution finale que par approximations successives. Tout calcul de tuyauterie doit se faire en deux étapes :

On détermine une valeur approximative des diamètres.

On vérifie l'équilibre de chaque circuit, les pressions motrices, les résistances et l'on rectifie, si c'est nécessaire, le diamètre de tel ou tel tronçon. Pour passer des lois et principes ci - avant au calcul pratique des diamètres, nous admettons que :

$$\sum jl = \sum \frac{rv^2 \varpi}{2g} = \frac{\Delta P_m}{2} \quad (\text{III.6}) \quad [7]$$

Cette hypothèse ne sert en fait qu'à choisir des diamètres en première approximation, c'est à dire on ne considère que les pertes linaires.

Ce qui nous permettra d'écrire :

$$\Delta P_m = h(\varpi_2 - \varpi_1) \quad (\text{III.7})$$

ΔP_m : pression mmCE ;

h : différence entre le radiateur et la chaudière ;

$\varpi_2 - \varpi_1$: Différence de poids volumique entre l'entrée et la sortie du radiateur qui est fonction de la chute de température (kg/m^3).

2.1. Conduite des calculs :

La préparation du travail consiste à établir un schéma, à calculer le débit, à numéroter les tronçons.

On calcule ensuite les diamètres en première approximation, puis on vérifie ces résultats.

De l'abaque III.1 on peut directement passer des calories aux débits.

Ou aussi, on peut avoir la valeur du débit par calcul soit :

$$q = \frac{\dot{Q}}{\text{chute}} = \frac{\dot{Q}}{t_1 - t_2} \quad (\text{III.8})$$

On additionne ensuite les débits dont les valeurs sont portées au fur et à mesure sur chaque tronçon.

2.1.1. Calcul des diamètres en première approximation :

Pour effectuer le calcul des diamètres, on commence, en première approximation, par admettre que :

$$jl = \sum \frac{rv^2 \varpi}{2g} = \frac{\Delta P_m}{2} \quad (\text{III.9})$$

où : $j = \frac{\Delta P_m}{2l}$ mmCE /m

l : longueur du circuit défavorisé (longueur aller et retour).

Nous obtiendrons un j moyen qui permettra de calculer les diamètres des tronçons du circuit le plus défavorisé, dans notre cas, ceux du radiateur 5 (voir figure III.1)

a. Radiateur 5 :

Calcul de la pression motrice ΔP_m .

Le tableau III.6 nous permet de déterminer les poids volumiques de l'eau à l'aller et retour en fonction de la température.

$$\varpi_{70^\circ\text{C}} - \varpi_{90^\circ\text{C}} = 977,81 - 965,34 = 12,47 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Le niveau de chute de 3m :

$$\Delta P_{m1} = h(\varpi_1 - \varpi_2) = 3 * 12,47 = 37,41 \text{ mmCE}$$

- Calcul des diamètres :

Le circuit du radiateur 5 se compose des tronçons 21,18,14,4,5,15,19,22 ; dont la longueur totale est de 42,5m.

Nous aurons donc $j_5 = \frac{\Delta P_{m_1}}{2l} = 0,9 \text{ mmCE} / \text{m}$.

Connaissant j_5 et les débits des tronçons, nous en déduisons leurs diamètres d'après l'abaque.

Ainsi les valeurs des diamètres des tronçons sont regroupées dans le tableau III.3.

b. Radiateur 6

Nous calculons sa pression comme s'il était seul sur son circuit (principe n°3), dans notre cas $\Delta P_{m1} = \Delta P_{m2} = \dots = \Delta P_{m6} = 37,41$, car comme nous avons déjà fait remarquer précédemment, les radiateurs sont tous à la même hauteur de la chaudière.

$$\Delta P_{m2} = 37,41 \text{ mmCE}$$

Le circuit complet du radiateur 6 est le suivant : 17,18,14,4,5,15,19,20

Or les tronçons 18,14,4,5,15 et 19 sont commun aux circuits des radiateurs 5 et 6.

Ils viennent d'être déterminés et dépensent $32,5\text{m} \cdot 0,9 = 29,25 \text{ mmCE}$.

D'où :

$$j_6 = 3 \text{ mmCE} / \text{m}$$

Pour le calcul des circuits des radiateurs restant, on procède de la même manière que le calcul du circuit du radiateur 6, les valeurs des diamètres des tronçons sont regroupées dans le tableau III.4.

2.1.2. Vérification des diamètres trouvés en première approximation :

Après avoir déterminé les diamètres des différents circuits de l'installation, il convient de calculer avec précision les pertes de pressions réelles en fonction de l'ensemble des résistances du circuit, c'est à dire tenir compte des résistances de frottement et des résistances locales [7]

Pour cela il suffit d'appliquer la formulé :

$$\Delta P = \sum j l + \sum \frac{r v^2 \varpi}{2g} \quad (\text{III.10})$$

Elle sera appliquée à chaque tronçon. En faisant la somme des pertes des différents tronçons d'un même circuit on arrivera à déterminer la perte des pressions du circuit considéré.

Cette perte de pressions doit être égale ou légèrement inférieure a la pression disponible ce qui s'exprime algébriquement par la relation :

$$\Delta P_m \geq \Delta P$$

Avec comme limite :

$$\Delta P_m - \Delta P \leq 0,10 \Delta P_m$$

Le tableau III.3 Résume les pertes de pression réelles des tronçons.

Dans notre cas, on n'aura pas modifié les diamètres des tronçons car l'équation est vérifiée pour tous les circuits.

Pour illustration, considérons le circuit du radiateur le plus défavorisé c'est à dire celui du radiateur 5.

On a:

$$\Delta P_{m1} = 37,41 \text{ mmCE}$$

$$\Delta P = \sum jl + \sum \frac{rv^2 \varpi}{2g} = 34,4 \text{ mmCE}$$

$$\Delta P_{m1} - \Delta P = 3,01 < 0,1 \Delta P_{m1} = 3,741 \text{ mmCE.}$$

Le principe n° 2 dit qu'il faut uniquement vérifier le circuit du radiateur le plus défavorisé, car c'est lui qui commande toute l'installation.[7]

Le calcul des pertes de pressions de ce circuit est résumé dans le tableau suivant.

tronçons	Débits (l/h)	Diamètre (mm)	L (m)	J (mmCE/m)	Jl (mmCE)	r	$\frac{v^2 \varpi}{2g}$ (mmCE)	$\frac{rv^2 \varpi}{2g}$	$Jl + \frac{rv^2 \varpi}{2g}$
21	139,4	26	5	0,3	1,5	3	0,18	0,54	2,04
18	190,77	26	9	0,6	5,4	4	0,49	1,96	7,36
14	223,34	26	6	0,8	4,8	2	0,63	1,26	6,06
4	327,11	33	1,5	0,48	0,72	2,3	0,52	1,19	1,91
5	327,11	33	1	0,48	0,48	2,3	0,52	1,19	1,67
15	223,34	26	5,5	0,8	4,4	2	0,63	1,26	5,66
19	190,77	26	9,5	0,6	5,7	4	0,49	1,96	7,66
22	139,4	26	9	0,3	1,5	3	0,18	0,54	2,04

Tableau (III.2) résumant les pertes de pressions du circuit R 5.

Tronçon	Débit (l/h)	Diamètre (mm)	L (m)	J (mmCE/m)	Jl (mmCE)	r	$\frac{v^2 w}{2g}$ (mmCE)	$\frac{rv^2 w}{2g}$	$\frac{rv^2 w}{2g} + jl$
1	39.96	20	4.5	0.14	0.63	3	0.001	0.003	0.633
2	67.64	20	2	0.22	0.44	2	0.1	0.2	0.64
3	100.77	15	5	2.5	12.5	2	0.5	1	13.5
4	327.34	33	4.5	0.48	0.72	2.3	0.52	1.19	1.91
5	327.34	33	4	0.48	0.48	2.3	0.52	1.19	1.67
6	103.77	15	5.5	2.5	13.75	2	1.2	2.4	16.15
7	67.64	15	2	0.32	6.64	2	0.16	0.32	0.96
8	39.96	20	4.5	0.14	0.63	3	0.001	0.003	0.633
9	27.68	15	1.5	0.28	0.42	2.5	0.1	0.25	0.67
10	27.68	15	1	0.28	0.28	2.5	0.1	0.25	0.53
11	36.13	15	1.5	0.35	0.52	2.5	0.14	0.35	0.87
12	36.13	12	1	1.2	1.2	2.5	0.36	0.9	2.1
13	32.57	12	6	1.1	6.6	3	0.28	0.84	7.44
14	223.34	26	6	0.8	4.8	2	0.63	1.26	6.06
15	223.34	26	5.5	0.8	4.4	2	6.63	1.26	5.66
16	32.57	15	5.7	0.3	1.71	2.5	0.1	0.25	1.96
17	51.37	15	1.5	0.7	1.05	2.5	0.9	2.25	3.3
18	190.77	26	9	0.6	5.4	4	0.49	1.96	7.36
19	190.77	26	9.5	0.6	5.7	4	0.49	1.96	7.66
20	51.37	15	1.5	0.7	1.05	2.5	0.9	2.25	3.3
21	139.4	26	5	0.3	1.5	3	0.18	0.54	2.04
22	139.4	26	5	0.3	1.5	3	0.18	0.54	2.04

Tableau III.3 : Pertes de pressions réelles des tronçons

Tronçon	Débit (l /h)	Longueur (m)	Débit de chaleur (Watt)	Diamètre (mm)
21	139.4	5	3233,98	26
18	190.77	9	4425,75	26
14	223.34	6	5182,09	26
4	327.11	1.5	7589,21	33
5	327.11	1	7589,21	33
15	223.34	5.5	5182,09	26
19	190.77	9.5	4425,75	26
22	139.4	5	3233,98	26

Tableau III.4a : R5 (radiateur défavorisé) : 139,4 l/h ; 3233,98 Watts.

Tronçon	Débit (l/h)	Longueur (m)	Débit de chaleur (Watt)	Diamètre (mm)
17	51.37	1.5	1191,77	15
18	190.77	9	4425,75	26
14	223.34	6	5182,09	26
4	327.11	1.5	7589,21	33
5	327.11	1	7589,21	33
15	223.34	5.5	5182,09	26
19	190.77	9.5	4425,75	26
20	51.37	1.5	1191,77	15

Tableau III.4b: R6: 51,37l/h; 1191, 77 Watts.

Tronçon	Débit (l/h)	Longueur (m)	Débit de chaleur (Watt)	Diamètre (mm)
13	32.57	6	755,71	12
14	223.34	6	5182,09	26
4	327.11	1.5	7589,21	33
5	327.11	1	7589,21	33
6	103.77	5.5	2407,77	15
16	32.57	5.7	755,71	15

Tableau III.4c: R4: 32, 57 l/h; 755,71Watts

Tronçon	Débit (l/h)	Longueur (m)	Débit de chaleur (Watt)	Diamètre (mm)
11	36.13	1.5	838,34	15
3	103.77	5	2407,97	15
4	327.11	1.5	7589,21	33
5	327.11	1	7589,21	33
6	103.77	5.5	2407,97	15
12	36.13	1	838,34	12

Tableau III.4d: R3: 36, 13 l/h; 838, 34 Watts.

Tronçon	Débit (l/h)	Longueur (m)	Débit de chaleur (Watt)	Diamètre (mm)
9	27.68	1.5	642,26	15
2	67.64	2	1569,40	20
3	103.77	5	2407,97	15
4	327.34	1.5	7589,21	33
5	327.34	1	7589,21	33
6	103.77	5.5	2407,97	15
7	67.64	2	1569,40	15
10	27.68	1	642,26	15

Tableau III.4e : R2 : 27,68 l/h ; 642,26 Watts.

Tronçon	Débit (l/h)	Longueur (m)	Débit de chaleur (Watt)	Diamètre (mm)
1	69.96	4.5	927,13	20
2	67.64	2	1569,40	20
3	103.77	5	2407,97	15
4	327.11	1.5	7589,21	33
5	327.11	1	7589,21	33
6	103.77	5.5	2407,97	15
7	67.64	2	1569,40	15
8	39.96	4.5	927,13	20

Tableau III.4f : R1 : 39,96 l/h ; 927,13.

2.2. CALCUL DES PERTES DE CHALEUR :

Pour les tubes « aller » nus dans lesquels s'écoule l'eau chaude à une température moyenne de 80 °C et qui est placé dans une ambiance de 20 °C, les pertes pourront être calculées d'après la formule :

$$\dot{Q} = KS(t_m - t_i) \quad (\text{III.11})$$

Pour une longueur d'un mètre de tube, avec

$$\dot{Q} = 11\pi\Phi(80 - 20) \approx 2000\Phi$$

Si Φ est exprimé en mm :

$$\dot{Q} = 2\Phi \quad (\text{Watt.m})$$

Pour les tubes «retour » nus placés dans les mêmes conditions mais où la température moyenne de l'eau est de 50 °C, on aura :

$$\dot{Q} = 11\Phi\pi(50 - 20) \approx 1000\Phi$$

Si Φ est en mm, l'équation s'écrit :

$$\dot{Q} = \Phi \quad (\text{Watt.m})$$

Pour des calorifugés en coquille de 3 cm d'épaisseur dont $\lambda=0,06$ kcal/m.h.°C par exemple, on trouve que l'on peut admettre que la perte est alors du tiers du diamètre un retour soit :

$$\dot{Q} = \frac{\Phi}{3} \quad (\text{Watt.m})$$

et de 2/3 du diamètre pour un aller soit :

$$\dot{Q} = \frac{2\Phi}{3} \quad (\text{Watt.m})$$

L'importance de l'écart de température (de l'ordre de 60 °C) entre le fluide chauffant et les locaux où passent les tuyaux nous amène à calorifuger toute la tuyauterie.

Les pertes des différents tronçons sont regroupées dans le tableau ci-après :

Tronçons	Diamètre en mm	Pertes de chaleur en Watt
1	20/27	46,98
2	20/27	20,88
3	15/21	40,60
4	33/42	24,36
5	31/42	32,48
6	15/21	89,32
7	15/21	32,48
8	20/27	93,96
9	15/21	12,18
10	15/21	16,24
11	15/21	12,18
12	12/17	13,14
13	12/17	39,44
14	26/34	78,88
15	26/34	144,60
16	15/21	92,8
17	15/21	12,18
18	26/34	118,32
19	26/34	249,78
20	15/21	24,36
21	26/34	65,72
22	26/34	131,46

Total des pertes = 1392,36 Watts

Tableau III.5 : pertes de chaleur des tronçons.

Chapitre 4

Production de la Chaleur

IV. PRODUCTION DE LA CHALEUR

La chaleur contenue dans les combustibles solides, liquides ou gazeux ou provenant de la transformation en énergie thermique de l'énergie électrique, et produite ou transformée, puis transmise aux fluides (eau, vapeur ou l'air) chargés de la transporter jusqu'au locaux à desservir dans les appareils à foyers fermés appelés chaudières ; La dénomination de générateur est le plus souvent réservée aux chaudières à vapeur.

Une chaudière à combustible solide, liquide ou gazeux se compose :

- D'un dispositif d'amenée d'air frais nécessaire à la combustion ;
- De la chaudière proprement dite ;
- D'un dispositif assurant l'évacuation des gaz brûlés (conduite de fumée).

On peut classer les chaudières suivant la source de chaleur en :

- Chaudières à combustible solide ;
- Chaudières à combustible liquide ;
- Chaudières à combustible gazeux ;
- Et chaudières électriques.

Pour notre cas nous traiterons la chaudière à combustible solide, puisque nous utilisons le grignon d'olive.

IV.1. Chaudières à combustible solide :

1.1 Chaudières en fonte :

Pour de petites et moyennes installations de chauffage on emploie, souvent des chaudières constituées par des éléments de fonte assemblés.

Toutefois, il existe pour les petites puissances des chaudières formées de plaques assemblées.

Les premières chaudières à élément ont été construites en Allemagne vers 1892 par STREBEL. [3]

Elles consistent en un nombre plus ou moins grand d'éléments intermédiaires, des éléments de façade et des éléments «arrières» réunis entre eux par des tiges d'assemblage et permettant, suivant leur nombre la construction de chaudières de puissances diverses.

Les avantages de ces chaudières sont :

- Le bon marché en raison de leur fabrication en série ;
- L'encombrement réduit et l'absence d'entourage en maçonnerie ;
- La longue durée et la conduite simple, même par des personnes peu averties ;
- La grande sécurité de fonctionnement ;
- La possibilité d'extension par adjonction d'éléments supplémentaires.

Les éléments sont des corps creux dont la face interne est baignée par l'eau, tandis que la face externe est léchée par les gaz de combustion.

La chaudière constitue, du fait même de son assemblage une trémie de chargement de combustible, une chambre de combustion, des carneaux et un cendrier.

Sur la façade antérieure, sont installées une porte de chargement et une de cendrier et, sur la façade postérieure, une boîte à fumée sur laquelle vient se brancher le conduit d'évacuation des gaz.

Les éléments sont assemblés au moyen des tirants et réunis par des bagues bicôniques lisses appelées nipples. Ils sont le plus souvent symétriques.

1.2. Chaudières en acier :

Les chaudières en acier sont utilisées dans des installations moyennes et importantes. Pour la production de vapeur haute pression ou d'eau surchauffée, leur emploi est presque exclusif. Toutefois elles peuvent être utilisées pour les chauffages à eau chaude. Ces chaudières sont plus spécialement destinées à assurer la production de chaleur nécessaire aux chauffages centraux donc d'une grande importance.

Parmi les chaudières en acier nous citons, les chaudières à tube d'eau ; ce sont des chaudières à foyer extérieur. Elles sont à circulation naturelle, caractérisées par un grand nombre de tubes d'eau qui, remplis à l'intérieur par l'eau de la chaudière, sont léchés à l'extérieur par les gaz de combustion. Ces chaudières ont l'avantage de recevoir tous les types de foyers et elles sont d'un encombrement réduit, une mise en régime rapide et un rendement élevé.

Elles exigent, par contre, une préparation soigneuse de l'eau d'alimentation, si celle-ci doit être renouvelée fréquemment.

La teneur en sels minéraux de l'eau est caractérisée par son degré d'hydrotimétrie. Les eaux à fort degré, lorsqu'elles sont chauffées à une certaine température (au-dessus de 60 à 70°C), forment sur les parois des surfaces de chauffe qu'elles baignent, des dépôts minéraux (tartres) qui s'opposent à la transmission calorifique des parois.

Il importe alors, pour rétablir un rendement normal, de procéder à des nettoyages périodiques (détartrages).

1.3. Foyers ;

On appelle foyers les dispositifs dans lesquels s'effectue la combustion ;
On distingue :

- Les grilles fixes, parmi lesquelles :
 - Les grilles planes, à barreaux fixes ou oscillant, chargées à main ou par un jet et utilisant surtout les houilles.
 - Les grilles à gradin, constituées par des grilles superposées en marche d'escaliers, avec entrées d'air horizontales entre grilles successives.

Elles conviennent surtout pour les combustibles pauvres (tourbe, lignite, déchets, etc...);

- Les grilles à auges, constituées par deux grilles en forme d'auge et comportant un chargement de combustible par trémie ; elles sont aussi utilisées par les combustibles pauvres.
- Les grilles par gravité, dans lesquelles le combustible, généralement en grains, stockés dans une trémie en charge sur un plan de grille incliné, descendent sur ce dernier au fur et à mesure de la combustion ; Le débit étant réglé à la demande au moyen d'un registre d'obturation situé à la base de la trémie.
- Les grilles mécaniques, parmi lesquelles :
 - Les grilles à chaîne, constituées par des barreaux juxtaposés formant une chaîne sans fin, qui progresse lentement dans le foyer en entraînant le combustible.
 - Les grilles à alimentation inférieure, dans lesquelles le combustible est amené à la base d'un « pot de combustion » par des vis sans fin ou des pistons. L'air primaire est soufflé à la partie haute du pot par des tuyères spéciales. Au cours de son Ascension le combustible s'échauffe, puis distille ; les matières volatiles dégagées traversent la couche en ignition et brûlent.
 - Les grilles à secousse, dans lesquelles les barreaux sont animés de lents mouvements oscillant qui homogénéisent la couche en ignition.

IV.2. Détermination de la chaudière :

Pour déterminer une chaudière il suffit de connaître :

- La puissance calorifique nécessaire pour alimenter les différents corps de Chauffe ;
- La nature du combustible utilisé.

2.1. Puissance calorifique de la chaudière :

La puissance calorifique de la chaudière est égale à la somme, majorée d'un coefficient tenant compte des pertes de l'installation, de la puissance calorifique nécessaire au chauffage des locaux.

Le bilan des pertes est ainsi :

- Les pertes dans les conduites sont environ 10% de la puissance totale ;
- Les pertes pour la mise en régime de 10% ;
- Réserves de la chaudière de 25%.

Soit $r = 45\%$.

Le coefficient de majoration $t = 1 + r = 1,45$.

La puissance de la chaudière est :

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_m * t = 7589,21 * 1,45 = 11004,38 \text{ Watts.}$$

2.2. Combustible utilisé :

Vu le thème de notre travail, le combustible à utiliser nous est imposé ; c'est le grignon d'olive pour cela, nous calculerons le pouvoir calorifique de ce combustible.

La formule qui nous permet de calculer le pouvoir calorifique inférieur est :

$$P_{CI} = \left(\frac{A}{100} I_A + \frac{B}{100} I_B + \dots + \frac{Y}{100} I_Y \right) - \frac{E}{100} 600 \quad [6]$$

$\frac{A}{100}$, $\frac{B}{100}$, ..., $\frac{Y}{100}$ Ce sont les pourcentages des constituants du combustible.

I_A , I_B , ..., I_Y leurs pouvoirs calorifiques respectifs.

E est le pouvoir permettant la vaporisation de l'eau.

2.2.1. Pouvoir calorifique :

On appelle pouvoir calorifique d'un corps combustible, la quantité de chaleur en kcal dégagée par la combustion complète de 1 kilogramme du combustible s'il est solide ou liquide ou de 1 m³ s'il est gazeux, ce combustible est l'air étant pris à 0°C et les produits de combustion étant ramenés à cette même température sous la pression de 1 atmosphère.

On distingue :

- Le pouvoir calorifique supérieur (P_{CS}) pour lequel on suppose que la vapeur d'eau des fumées est condensée et restitue sa chaleur de vaporisation.
- Le pouvoir calorifique inférieur (P_{CI}) pour lequel on suppose que la vapeur d'eau des produits de la combustion reste à l'état de vapeur à 0°C et est évacuée à l'atmosphère ou perdue. On admet que la chaleur latente ainsi perdue est d'environ 600 kcal par kilogramme de vapeur d'eau.

S'il s'agit d'un combustible sec ne contenant pas d'hydrogène, les P_{CS} et les P_{CI} se confondent.

Dans tout déchet on a :

- Les non combustibles (les minéraux) ;
- L'eau contenue dans ce déchet ;
- Les combustibles : généralement de la cellulose.

Pour le grignon d'olive, on a comme combustible uniquement de la cellulose qui a un pouvoir calorifique de 4000kcal/kg

La teneur en cellulose brute dans le grignon d'olive varie de 15 à 50% d'après le chapitre I (tableau I.2).

Le tableau I.3. nous donne le pourcentage des constituants des différents types de grignons.

Pour le grignon brut :

%CB : 35,5 % ; % eau = 18,6 %.

Pour le grignon épuisé :

%CB : 40,7 ; % eau : 11.

Pour le grignon tamisé :

%CB : 24,2 ; % eau : 7,2 ;

Pour le grignon épuisé-tamisé :

%CB : 21,5 % ; % eau : 10,5 ;

Les pouvoirs calorifiques inférieurs sont :

- Grignon brut : $P_{CI} = 1308,4$ kcal/kg
- Grignon épuisé : $P_{CI} = 1562$ kcal/kg
- Grignon tamisé : $P_{CI} = 924,8$ kcal/kg
- Grignon épuisé-tamisé : $P_{CI} = 797$ kcal/kg

Notre choix se portera sur le grignon épuisé car c'est lui qui est le plus séché, donc plus facile à brûler.

2.3. détermination de la chaudière :

On peut déterminer la chaudière soit en considérant la surface de la grille, soit en considérant la surface de chauffe.

2.3.1. Par la surface de grille :

Pour déterminer la surface de grille, il existe un paramètre important qui entre en jeu qu'on appelle «allure».

Définition : « l'allure » d'une combustion est le poids de combustible en kilogrammes brûlés par heure et par mètre carré de grille.

Ce paramètre est fonction de la température extérieure du bâtiment, il est inversement proportionnel à cette dernière.

Il est tabulé pour certains combustibles, dans notre cas nous admettrons qu'il est égal à $20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$. [5]

Ainsi la surface de grille est tirée à partir de la formule :

$\dot{Q}_{tot} = \text{allure} * \text{surface de grille} * \text{pouvoir calorifique}$ [4].

Surface de grille : $S_g = \frac{\dot{Q}_{tot}}{\text{allure} * \text{pouvoir calorifique}}$

A.N. : $S_g = 0,3 \text{ m}^2$

2.3.2. Par la surface de chauffe :

La surface de chauffe totale c'est la surface de la chambre de combustion augmentée de celle des carneaux de fumée.

Pour le calcul de cette surface, il suffit d'admettre une puissance que la chaudière peut fournir par mètre carré et par heure et ensuite faire le rapport de la puissance totale fournie par cette chaudière par heure à cette puissance admise ; soit cette valeur : 5000 kcal/m². h.[5]

Donc la surface de chauffe :

$$S_c = 1,9 \text{ m}^2.$$

IV.3. Chaufferies :

Les chaufferies sont les locaux renfermant les appareils de production de chaleur.

L'étude d'une chaufferie comporte : le choix de l'emplacement, le calcul de ces dimensions, la fixation des conditions relatives à sa réalisation, à son aménagement et à la détermination des conduites de fumée et de ventilation.

3.1. Dimension de la chaufferie :

Les dimensions des chaufferies sont fonction du volume et du nombre de chaudières à installer.

Les chaudières auront entre elles, ainsi qu'entre leurs faces arrières et le mur de la chaufferie, une distance de 0,5 m au minimum.

Il sera réservé à l'avant des chaudières un espace libre minimal de 1,5m.

La hauteur sous poutre des chaufferies dépend en outre du fluide calorifique utilisé et de la présence éventuelle de réservoirs réchauffeurs d'eau chaude.

Elle doit permettre la réalisation d'un socle de chaudières de 0,15 à 0,20m.

Les catalogues de constructeurs de chaufferies, qui donne leurs dimensions caractéristiques et celles de leurs accessoires, fournissent les éléments indispensables au calcul de la hauteur des chaufferies ; il est souhaitable que cette hauteur soit au moins de 2,20m. [5]

3.2. Réalisation et aménagement des chaufferies :

Les murs doivent être en matériaux incombustibles, notamment en briques ou en béton ; leur épaisseur doit être en particulier de 0,11m au minimum pour les réalisations en briques afin d'offrir toute garantie de solidité et de résistance au feu.

Le sol est constitué par un dallage en matériaux imperméables et incombustibles, tout au moins sur le pourtour du massif de la chaudière, il est établi en pente permettant l'écoulement des eaux de vidange ou de lavage vers un puisard prévu à cet effet pour leur évacuation naturelle ou par pompe.

Les plafonds sont exécutés en éléments incombustibles.

Les chaufferies doivent comporter une ou plusieurs portes disposées sur les parois limitant immédiatement le local et ne commandant ni un local de travail, ni un local d'habitation ni un escalier ou dégagement ; ces portes permettent un accès et une sortie faciles et s'ouvrent vers l'extérieur.

S'il existe un escalier de sortie (chaufferie en sous-sol notamment), un accès de plein-pied d'au moins 4m² est obligatoire.

Les portes sont constituées par des matériaux résistant au feu du type pare-flamme.

Le massif de la chaudière est en matériau incombustible (béton en général) ; leur épaisseur peut varier entre 0,15 et 0,20m et leur surface est telle qu'il déborde de 0,05m environ sur les côtés et de 0,15m environ sur l'avant et l'arrière de la chaudière.

3.3. Conduit de la chaufferie :

Toute chaufferie doit comporter en plus des portes et soupiraux :

- Un ou plusieurs conduits d'évacuations des produits de la combustion ;
- Un conduit d'évacuation d'air vicié ;
- Une gaine d'amenée d'air frais.

3.3.1. Conduite de fumée :

La chaudière est desservie par un conduit de fumée spécial.

Il est recommandé de ne brancher sur un même conduit que des chaudières destinées au même usage.

Chaque conduit est branché sur un carneau spécial.

Tout conduit commun ne peut desservir que des foyers utilisant des combustibles de même nature.

Lorsque la buse de fumée de la chaudière est branchée directement sur le conduit de fumée, il y a lieu de vérifier lors de l'établissement du projet de la chaufferie que la dimension du conduit devant recevoir le raccordement est au moins égal de la dimension de la buse de sortie de la chaudière ; le conduit de fumée doit être donc disposé convenablement ou avoir ses dimensions proportionnées en conséquence.

Les sections intérieures des conduits de fumée desservant des foyers à combustibles solides ou liquides fonctionnant en tirage naturel sont données par les formules :

$$\omega_f = \frac{P}{70\sqrt{h}} \quad (\text{d'après HERODY}) \quad (\text{IV.1}) [5]$$

Ou :

$$\omega_f = \frac{P}{100\sqrt{h}} \quad (\text{d'après MONTGOLFER}) \quad (\text{IV.2}) [5]$$

ω_f est la section du conduit calculé en m^2 .

P est la quantité en kg de combustible brûlée à l'heure.

h est la hauteur en m qui sépare la grille ou le nez du brûleur de la chaudière du débouché de la cheminée ; Généralement, $h = H - 0,50$ (H étant la hauteur en m du conduit de fumée).

3.3.2. Conduit d'évacuation d'air vicié et gaine d'amenée d'air frais :

Toute chaufferie doit posséder :

-En plafond, une évacuation d'air vicié montant au-dessus des combles, composés d'un ou plusieurs conduits, de préférence accolés au conduit de fumée.

-Une amenée d'air frais aboutissant à la partie basse et composée d'une ou plusieurs gaines, ayant pour but de mettre l'atmosphère de la chaufferie à la pression atmosphérique.

La section libre minimale des évacuations d'air vicié est au moins égale à la moitié de celle des conduits de fumée et ne jamais être inférieure à 1 dm^2 .

La section d'amenée d'air est égale à la demie somme des sections des conduits de fumées et d'évacuation d'air vicié sans jamais être inférieure à $0,5 \text{ dm}^2$.

Dans la chaufferie, cette gaine débouche près du sol (à 0,4 ou 0,5m) ; notons que, dans certains pays, il est prescrit d'installer ce débouché derrière la chaudière. [3].

IV.4. Soute à combustible solide :

Leur réalisation est conditionnée par le choix de l'emplacement, la détermination des dimensions, la nature du sol et des parois.

La soute doit nécessairement être contiguë à la chaufferie, elle est en général établie à la même côte que le socle de la chaudière, jamais au-dessous. Si les conditions générales et l'emplacement sont remplies, le sol de la soute peut être exécuté au-dessus du niveau de la chaufferie ; cette disposition est recommandée pour les chaudières à chargement par-dessus ou comportant un avant foyer automatique.

4.1. Dimensions de la soute :

Les dimensions de la soute dépendent à la fois de la quantité et de la masse volumique du combustible stocké en vrac, ainsi du nombre de livraisons annuelles prévues, qui est en général fonction de l'importance de la chaudière. La quantité du combustible stocké est déterminée par la nature des besoins ; elle correspond en fait à une réserve d'énergie.

IV.5. Vase d'expansion :

5.1. Vase d'expansion ouvert :

Toutes les chaudières de chauffages centraux ouverts utilisant les combustibles solides, liquides ou gazeux ou l'électricité doivent, pour empêcher toute élévation de pression, être en relation permanente avec l'atmosphère par une conduite de diamètre approprié dite « tube de sécurité » ne comportant aucun organe de barrage.

Les diamètres minimaux sont donnés par la formule :

$$D=15+1,5\sqrt{\frac{Q_{tot}}{1000}} \quad (IV.4) [5].$$

La section du tube de sécurité doit être augmentée de 5% pour chaque changement de direction et pour 5m de longueur de tube en plus de la distance horizontale entre la chaudière et la partie supérieure du tube.

Le trop plein du vase d'expansion doit, en principe, aboutir dans un endroit visible (chaufferie par exemple). Il peut encore déboucher au-dessus d'un entonnoir à communication avec une canalisation d'eau intérieure afin d'éviter l'obturation de ce trop plein par des glaçons en cas de fortes gelées.

Il est recommandé de monter le vase d'expansion en position verticale dans les cas d'eau agressive, de telle sorte que la surface de contact eau/air soit la plus faible possible.

Le vase d'expansion d'une installation doit avoir une capacité égale à 0,086 litre d'eau contenu dans l'installation ; On pourra prendre en avant projet 1,5 litres pour 1000kcal/h de puissance de la chaudière.

L'eau contenue dans notre installation est de 14,23 litres, d'où la capacité du vase sera 1,22 litres.

5.2. Vase d'expansion fermée :

Dans le cas où il y aurait l'impossibilité de mettre un vase d'expansion ouvert en partie haute de l'installation, il est possible de régler le problème de la dilatation de l'eau en installant en chaufferie un vase d'expansion fermé.

Les vases fermés sont dotés, à l'intérieur du réservoir d'eau, d'une capacité élastique renfermant de l'air ou de l'azote.

Lorsque l'eau se dilate dans l'installation, elle pénètre dans le vase en comprimant la capacité jusqu'à une pression maximale qui correspond à celle de la hauteur maximale de l'installation.

La chaudière doit être équipée d'une soupape de sécurité tarée à la pression maximale de marche de l'installation.

L'évacuation d'air en partie haute de l'installation s'effectue par l'intermédiaire d'une bouteille de purge.

IV.6. Choix du modèle de chauffage

Après avoir étudié en détails les différents types de chaudières et différentes sortes de foyers (grilles) notre choix portera sur une chaudière en fonte à éléments, puisque nous avons la possibilité d'adjoindre des éléments supplémentaires au cas où les besoins en chauffage augmenteraient.

La chaudière aura comme foyer, des grilles à gradins ou des grilles à auges car toutes les grilles conviennent parfaitement bien à notre combustible puisqu'il est classé parmi les combustibles pauvres (déchets, tourbes, lignites, etc.).

Pour la conception de cette chaudière on s'inspirera des chaudières à combustible solides déjà existantes qui peuvent bien marcher avec le grignon d'olive.

Quant à la chaufferie, les murs seront impérativement en matériaux incombustibles, notamment en brique ou en béton ; nous opterons pour les briques, puisque ce sont eux qui offrent la meilleure garantie de solidité et de résistance au feu avec une épaisseur de 0,11 m.

Les petites installations comme la notre, l'emplacement de la chaufferie n'est pas trop exigeant, nous la plaçons soit au milieu de la maison en sous-sol, soit à la périphérie en sous-sol bien entendu.

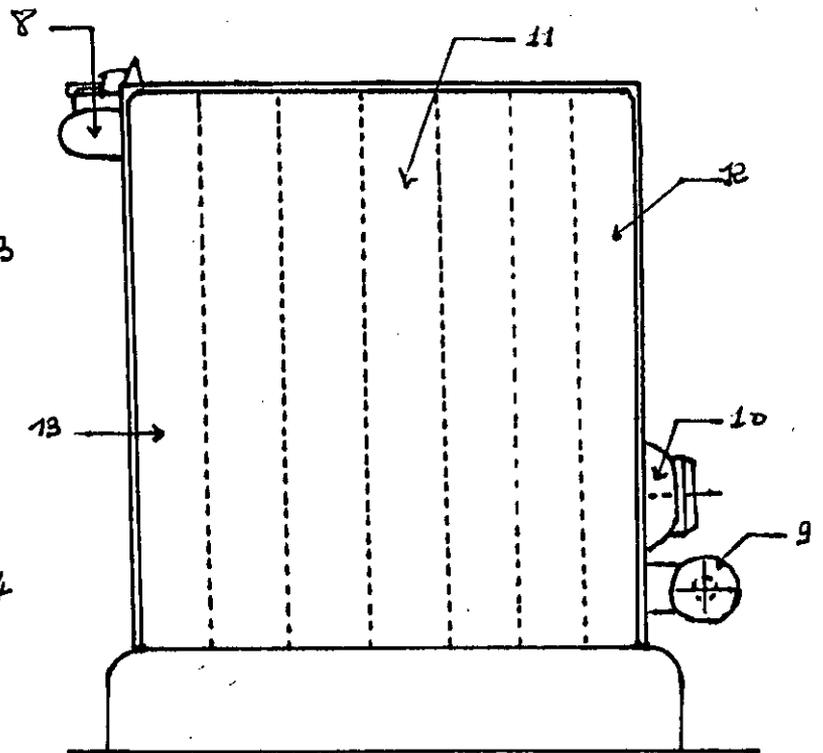
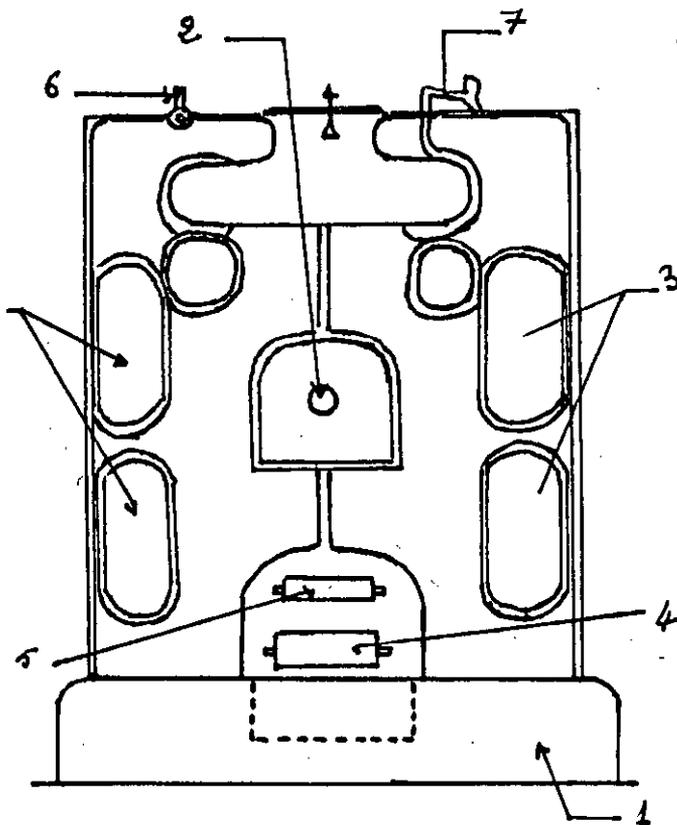
La soute elle, sera au voisinage immédiat et au même niveau de la chaufferie et elle sera aussi à taille à peu près égale à la chaufferie.

Puisque l'installation est petite (maison individuelle), on alimentera la chaudière à la main.

6.1.Allumage

Pour que cela marche, il lui faut une étincelle pour la première combustion.

L'allumage peut être soit manuel, soit mécanique etc. , l'allumage mécanique ne ferait qu'augmenter le coût économique de l'installation. Puisque nous sommes en présence d'une petite chaudière, nous utiliserons un allumage manuel.



Façade antérieure

- 1 Socle
- 2 Porte de chargement
- 3 Porte de remonage de carneaux de fumée
- 4 Volet d'admission d'air
- 5 Porte de cendrier
- 6 Thermomètre
- 7 Régulateur de tirage

Vue de côté

- 8 Départ d'eau chaude
- 9 Retour d'eau froide
- 10 Boîte de fumée
- 11 Element intermédiaire
- 12 Element postérieur
- 13 Element de façade

Chaudière en fonte à éléments

Chapitre 5

Chauffage classique

V.1.Introduction :

Dans ce chapitre notre travail consiste à concevoir un système de chauffage qui puisse chauffer les locaux d'une maison avec les gaz brûlés rien qu'avec les gaz brûlés c'est à dire concevoir une enceinte de combustion par la suite une canalisation passant par les locaux avant de les faire échapper, ces gaz à leurs passages, cèdent leurs chaleurs.

Pour cela nous nous inspirerons aux enceintes de chauffages individuels (poêles) qui eux sont destinés à chauffer une partie d'un bâtiment donc le gros du travail réside au niveau de la canalisation.

V.2. Poêles à combustibles solide :

Un poêle consiste à chauffer une pièce par rayonnement et par convection ; alors que nous, nous l'utilisons pour une production de chaleur, donc une isolation s'impose pour éviter une perte de chaleur énorme.

Les parois de la chambre de combustion doivent être isolées thermiquement.

V.2.1. Isolation :

Un bon isolant doit posséder les qualités suivantes :

- Un coefficient de conductibilité bas ;
- Le matériau doit résister à la chaleur et autant que possible à l'humidité ou être protégé efficacement contre celle-ci ;
- L'isolant doit posséder une certaine résistance mécanique ;
- La pose doit être aisée et les réparations éventuelles faciles à exécuter.

Les principaux matériaux de base sont : le Kieselgur, la magnésie, l'amiante, le liège, la soie de verre, la laine minérale et la laine de laitier.

V.2.1.1. Coefficient de conductibilité :

Le pouvoir d'isolement d'une couche de calorifuge d'épaisseur donnée dépend, en premier lieu du coefficient de conductibilité du matériau considéré.

Ce coefficient de conductibilité du matériau considéré est donné sous forme de tableaux en fonction de la température et de la densité.

Il croit en général avec la température et la densité.

Pour les isolants comportant plusieurs couches superposées hétérogènes, on détermine le coefficient équivalent de conductibilité qui serait celui d'un matériau imaginaire homogène ayant, à épaisseur égale, le même pouvoir d'isolement que le matériau à plusieurs couches hétérogènes.

Le pouvoir isolant d'un calorifuge tel qu'il résulterait de la valeur du coefficient de conductibilité et de l'épaisseur du matériau n'est, la plus part du

temps, jamais complètement atteint dans la pratique, car il faut toujours compter sur les imperfections dans l'exécution (couches d'épaisseur régulière, joints incomplètement remplis)

Par ailleurs, il se produit aussi des pertes de chaleur supplémentaires dues à la présence des supports.

V.2.1.2. Les matériaux de calorifuge :

Suivant le mode d'exécution on distingue :

Les isolants plastiques, les isolants souples, les isolants en pièces de forme et les isolants de remplissages. Dans les installations de chauffage ; ce sont surtout les deux premiers qui sont employés. Les isolants en pièces de forme sont utilisés pour des températures élevées ou lorsque la question de résistance mécanique se pose.

- Matériaux isolants plastiques :

Le matériau de base en général le kieselgur, mais aussi la magnésie, fourni en poudre est avant usage, additionné d'eau et transformé en une masse pâteuse que l'on étend en couche mince sur la face extérieure de l'enceinte chauffée pendant l'application, ce qui permet un séchage régulier et continu de la masse. Ce genre de calorifuge est peu coûteux et la réparation en est possible sans aucune difficultés.

- Matériaux isolants souples en matélas ou en terre :

Les matériaux fibreux comme la laine de verre ou la laine minérale consus sur du carton, sont posés directement sur les plaques extérieures de l'enceinte ligaturée avec du fil de fer. Contrairement aux matériaux plastiques, les matériaux souples peuvent être posés au froid.

- Pièces de forme :

Les coquilles préfabriquées en kieselgur, en liège et en carbonate de magnésie permettent un calorifuge régulier et rapide. Elles offrent une certaine résistance mécanique et leur longévité est considérable. Elles présentent, par contre l'inconvénient de nécessiter un approvisionnement en élément, d'épaisseur adaptée aux différents diamètres et même, le cas échéant, d'épaisseurs différentes.

- Matériaux de remplissage :

Dans ce genre de calorifuge, le matériau isolant est traduit et maintenu par un grillage ou une jaquette en tôle dans une enveloppe entourant le réservoir à calorifuger.

V.3. Les conduits d'évacuations des gaz de combustion :

Les conduits que nous allons concevoir, serviront à chauffer les locaux et à évacuer les gaz de combustion, c'est à dire, une espèce de canalisation relié directement avec l'enceinte de chauffe. Les gaz de combustion s'échappent en cédant leur chaleur dans les différents locaux de la maison.

La canalisation sera munie d'une cheminée qui servira à évacuer à l'extérieur les gaz produits par la combustion. Cette cheminée doit en même temps, grâce au tirage qu'elle provoque, amener à l'enceinte l'air nécessaire à la combustion.

V.3.1 Le tirage de la cheminée :

Le tirage de la cheminée est provoqué par la différence de poids spécifique de l'air extérieur et des gaz chauds de la combustion. La valeur du tirage est donnée par la formule :

$$H = h(\gamma_a - \gamma_i) \approx h \cdot C(T_i - T_a) \quad \text{V.1}$$

Dans la quelle :

H : est la valeur du tirage de la cheminée en mmCE

h : est la hauteur de cheminée en m.

γ_i : est le poids spécifique des gaz de combustion en Kg/m³

γ_a : est le poids spécifique de l'air extérieur en Kg/m³

C : est un coefficient

T_i : est la température des gaz de combustion en °C

T_a : est la température de l'air en °C

Le tirage de la cheminée est donc d'autant plus fort que la cheminée est plus haute et que la différence de température entre les gaz de combustion et l'air extérieur est plus grande.

La quantité de gaz de combustion qu'un tirage de valeur donnée peut évacuer, dépend des résistances rencontrées sur l'ensemble du circuit à parcourir : à savoir la résistance à l'intérieur de la poêle, la résistance au niveau des conduits passant dans les locaux à chauffer et la résistance de la cheminée elle même.

Aussi les facteurs suivants exercent une influence : la longueur et la section des conduits, la hauteur et la section de la cheminée, la rugosité plus ou moins grande de la surface interne de la canalisation ainsi que le nombre et la nature des changements de direction.

V.3.2. Détermination du diamètre de canalisation :

Pour déterminer le diamètre de canalisation, il convient de choisir la solution qui conduit au prix de revient minimum. De nombreux facteurs rentrent ici en jeu.

Il convient d'abord d'examiner l'incidence des diamètres de tubes sur le coût de la distribution de la chaleur

En supposant connus la nature du fluide transportant la chaleur (gaz de combustion), la pression et la température dans les locaux et également le débit du fluide transporté à une distance donnée, nous pouvons faire un choix optimum du diamètre.

Si on choisit un petit diamètre des tubes, il est évident que la canalisation sera peu coûteuse et les charges financières réduites. Par contre les chutes de pression, donc les dépenses pour le transport dans les tubes de diamètres décroissants, augmentent rapidement.

Le problème de détermination de diamètre peut aussi être résolu par le calcul, c'est ce que nous allons voir ci-après.

V.3.2.1. Calcul de la cheminée :

Le calcul de la cheminée nous permet de déterminer le diamètre de la canalisation à admettre pour l'installation, puisque, elle est directement reliée à cette dernière.

Ce calcul revient à déterminer la section de la cheminée l'équation de REDTENBACHER [5] est la plus générale :

$$f = \frac{1}{n} \frac{R_h}{\sqrt{h}} \quad \text{V.2}$$

Dans la quelle :

- f est la section libre de la cheminée en m^2
- R_h est le poids horaire de gaz de combustion à évacuer en kg
- h est la hauteur de la cheminée en m
- n est un coefficient dont la valeur varie de 900 à 1800. [5]

GROBER établi la relation :

$$\frac{1}{n} = \sqrt{\frac{1}{a}} \sqrt{\frac{\lambda \frac{h}{s} + \sum \tau}{1,5 \cdot 10^5 \gamma_i (\gamma_a - \gamma_i)}} \quad \text{V.3}$$

Dans la quelle :

a est la partie du tirage absorbée par la résistance propre

λ : est le coefficient de frottement

$\sum \tau$: est la somme des résistances particulières

Pour déterminer le diamètre de canalisation, il convient de choisir la solution qui conduit au prix de revient minimum. De nombreux facteurs rentrent ici en jeu.

Il convient d'abord d'examiner l'incidence des diamètres de tubes sur le coût de la distribution de la chaleur

En supposant connus la nature du fluide transportant la chaleur (gaz de combustion), la pression et la température dans les locaux et également le débit du fluide transporté à une distance donnée, nous pouvons faire un choix optimum du diamètre.

Si on choisit un petit diamètre des tubes, il est évident que la canalisation sera peu coûteuse et les charges financières réduites. Par contre les chutes de pression, donc les dépenses pour le transport dans les tubes de diamètres décroissants, augmentent rapidement.

Le problème de détermination de diamètre peut aussi être résolu par le calcul, c'est ce que nous allons voir ci-après.

V.3.2.1. Calcul de la cheminée :

Le calcul de la cheminée nous permet de déterminer le diamètre de la canalisation à admettre pour l'installation, puisque, elle est directement reliée à cette dernière.

Ce calcul revient à déterminer la section de la cheminée l'équation de REDTENBACHER [5] est la plus générale :

$$f = \frac{1}{n} \frac{R \cdot h}{\sqrt{h}} \quad \text{V.2}$$

Dans la quelle :

- f est la section libre de la cheminée en m^2
- $R \cdot h$ est le poids horaire de gaz de combustion à évacuer en kg
- h est la hauteur de la cheminée en m
- n est un coefficient dont la valeur varie de 900 à 1800. [5]

GROBER établi la relation :

$$\frac{1}{n} = \sqrt{\frac{1}{a}} \sqrt{\frac{\lambda \cdot \frac{h}{s} + \sum \tau}{1,5 \cdot 10^8 \cdot \gamma_i (\gamma_a - \gamma_i)}} \quad \text{V.3}$$

Dans la quelle :

a est la partie du tirage absorbée par la résistance propre

λ : est le coefficient de frottement

$\sum \tau$: est la somme des résistances particulières

s est le côté du carré équivalent à la section de la cheminée, si cette section est circulaire s sera remplacé par le diamètre

Ce diamètre est déduit à partir de la section trouvée.

V.4.Conclusion :

Si l'on connaît la relation entre chaque composant du coût de l'installation et le diamètre des tubes, on trouve aisément la valeur minimale de l'ensemble des frais, donc le mode d'installation le plus économique.

L'idée de faire chauffer les locaux par les gaz de combustions est une solution à prix minimum mais la grande question se pose, quant à la répartition de la chaleur ; les gaz étant plus chauds à la sortie de l'enceinte de chauffe. Cette étude serait complète si elle était réalisée.

Conclusion Générale

Conclusion

Au cours de ce projet nous avons eu à dimensionner les différentes parties du chauffage, les résultats obtenus nous font remarquer la grandeur de notre installation ; on a une installation de petite taille (chauffage d'une maison individuelle) et ceci est tout à fait une conséquence attendue car l'exemple pris est une maison de 100 m².

Le grignon d'olive en forme de fins grains et par l'importance de la quantité de rejets par an, peut bien être utilisé comme combustible son seul handicap est que son pouvoir calorifique est faible par rapport à celui du charbon par exemple.

Cependant ces résultats peuvent être extrapolés au chauffage central qui pourra alimenter tout un village.

Ce travail est théoriquement traité avec les considérations de la réalité de la région (Tizi-Ouzou) c'est à dire qu'on a tenu compte des revenus de ses habitants, pour ce qui est du coût et aux conditions climatiques.

Considérant les contraintes surtout temporelles, nous n'avons pu arriver à la réalisation concrète de ce chauffage mais du côté de la conception, nous pensons avoir fait l'essentiel du travail ; Cependant, ce présent travail se verrait complet si on aurait réalisé ce chauffage. Nous espérons avoir donné une ouverture à la bonne continuation de ce modeste travail.

Des perspectives aussi intéressantes que potentielles peuvent être envisageables pour l'avenir. La méthodologie étant établie, il est maintenant possible de mettre au point de nouvelles applications et extensions de notre travail en respectant toutefois les exigences humaines, financières et technologiques.

Il y a lieu de mentionner le plaisir et la passion qui nous ont animés en travaillant sur ce thème, qui est sans doute, d'une cuisante actualité pour nos pays en voie de développement à la recherche d'un essor économique et industriel qui passe par la mise en place d'infrastructures adéquates plus particulièrement pour un réveil technologique afin de participer pleinement et d'une autre manière au développement de la science et par là asseoir leur développement.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] : A.BAKALEM ;« Caractérisation et Traitement d'un réjet d'huilerie « grignon d'olive » » ; 1995 PFE ; E.N.P ; departement genie environnement
- [2] : P.LECANNE ; « Guide pour l'installation des chauffages modernes » ; 1965 ; 3eme édition.
- [3] : R.MOULY et R.GAVELLE ; « Le monteur et technicien en chauffage » ; 1989 ; édition Eyrolles.
- [4] : S.BELAKHOWSKY ; « chauffage et climatisation » ; 1980 ; technique et vulgarisation.
- [5] : H.RIETSCHER et W.RAISS ; « Traité de chauffage et climatisation » ; 1973 édition dunod.
- [6] : A G H T M ; « les résidus urbains » ; 1975 ; collection IPE.
- [7] : R.BOUIGE et D.GOILLARD « traité pratique de chauffage » ; édition J-B.Baillere.

Annexes

Annexes

TABLEAU NUMERIQUE A 14

Majoration z_D et z_H en %

a) Majoration groupées $z_D = z_U + z_A$

Mode d'exploitation	Coefficient D	0.1	0.70	0.70	1.5
		à 0.29	à 0.69	à 1.49	
I	Exploitation réduite	7	7	7	7
II	Interruption de 9 à 12 h de durée	20	15	15	15
III	Interruption de 12 à 16 h de durée	30	25	20	15

b) Majoration z_H pour orientation

Orientation	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
Majoration z_H	-5	-5	0	+5	+5	+5	0	-5

TABLEAU NUMERIQUE A 15a

Perméabilité des joints a par mètre de longueur de joints (en m^3 / h)

Pour portes et fenêtres d'exécution irréprochable

Et avec des vantaux de dimensions normales

Fenêtres en bois et en Matière synthétique	Fenêtres simples	3.0
	Fenêtres composées	2.5
	Fenêtres doubles et fenêtres simples Avec étanchéité garantie	2.0
Fenêtres en acier et Fenêtres métalliques	Fenêtres simples	1.5
	Fenêtres composées	1.5
	Fenêtres doubles et fenêtres simples Avec étanchéité garantie	1.2
Portes intérieures	Non étanches (sans seuil)	40
	Etanchéité garantie	15
Portes extérieures	Comme les fenêtres	

Annexes

TABLEAU NUMERIQUE A 15b

Rapport longueurs / à surface de fenêtre ou de porte S
Pour la détermination approximative de la longueur des joints ($\omega = l/S$)

	Hauteur de la fenêtre ou de la porte m	ω
Fenêtres à nombre de vantaux quelconque	0.50	7.2
	0.63	6.2
	0.75	5.3
	0.88	4.9
	1.00	4.5
	1.25	4.1
	1.50	3.7
	2.00	3.3
2.50	3.0	
Portes et portes-fenêtres :		
à deux vantaux	2.50	3.3
à un vantail	2.10	2.6

Annexes

TABLEAU NUMERIQUE A 16

Caractéristique de local R

Pour des locaux avec des fenêtres et des portes de dimension,
de longueur de joints et d'un nombre courants

Rapport De surface	Fenêtre en bois ou en matière synthétique		Fenêtre en acier et fenêtres métalliques		Caractéristique de maison
	Portes intérieures		Portes intérieures		
	étanches	Non étanches	étanches	Non étanches	
S_E / S_P	< 1.5	< 3	< 2.5	< 6	R = 0.9
S_E / S_P	1.5...3	3...9	2.5...6	6...20	R = 0.7

S_E : surface des fenêtres et portes extérieures au vent.

S_P : surface des portes sous le vent.

Pour les portes coulissantes on peut toujours poser R = 1.

TABLEAU NUMERIQUE A 17

Caractéristique de maison H

		Maison d'alignement	Maison individuelle ⁽¹⁾
Région normale	Site protégé	0.24	0.34
	Site découvert	0.41	0.58
	Site particulièrement découvert	0.60	0.84
Région à vents forts	Site protégé	0.41	0.58
	Site découvert	0.60	0.84
	Site particulièrement découvert	0.82	1.13

⁽¹⁾ voir délimitation page 79

Annexes

TABLEAU NUMERIQUE A 18
Coefficients K des fenêtres et portes

	Kcal / m ² .h.°C	
Portes		
Portes extérieure, bois	3.0	
Porte extérieure, acier	5.0	
Porte de balcon, bois, avec remplissage laine de verre, porte simple	4.0	
Porte de balcon, bois, avec remplissage laine de verre, porte double	2.0	
Porte intérieure	2.0	
	bois	métal
Fenêtres extérieures ⁽¹⁾		
Vitrage simple	4.5	5.0
Vitrage double , 6 mm d'écartement entre les 2 verres	3.1	3.4
Vitrage double , 12 mm d'écartement entre les 2 verres	2.8	3.1
Fenêtres composée	2.2	3.0
Fenêtres double	2.0	2.8
Imposte--simple dans cadre métallique	5.0	
Imposte—double dans cadre métallique	3.0	
Grandes vitrines, fenêtre à encadrement en béton	5.0	
Fenêtre en pavés de verre creux	2.5	
Fenêtres intérieures		
Fenêtres simples	3.0	
Fenêtres doubles	2.0	
Fenêtres de serres		
$S_{\text{surface vitrées}} / S_{\text{surface au sol}} = 1$	5.0	
= 1.5	4.1	
= 2.0	3.6	
= 2.5	3.3	
= 3.0	3.0	

⁽¹⁾ l'exécution « bois » s'applique également aux matières synthétiques : l'exécution « acier » aux métaux non ferreux.

Annexes

TABLEAU NUMERIQUE A 18

Coefficients k de murs [kcal / m².h.°C] (selon DIN 4701)

1. maçonnerie de blocs pleins, perforés ou creux (enduits sur une ou deux faces)

remarque : en tête du tableau on a à côté des anciennes mesures (entre parenthèse) indiqué également les nouvelles épaisseurs de murs pour des mêmes valeurs des coefficients k. A cause de la faible différence des coefficients k, on n'a pas fait de différence dans le tableau lui-même.

Matériau	Masse volu. ⁽¹⁾	Murs extérieurs, épaisseur (mm)				Murs intérieurs, épaisseur (mm)				
		240 (205)	300	365 (380)	490 (510)	115 (120)	175	240 (120)	300	365 (380)
A. briques (din105)	1 000	1.19	1.01	0.87	0.68	1.63	1.31	1.08	0.93	0.81
brique pleine, brique creuse de construction, brique creuse.	1 200	1.29	1.10	0.95	0.75	1.72	1.40	1.17	1.01	0.88
	1 400	1.42	1.22	1.06	0.85	1.83	1.51	1.27	1.11	0.97
Brique pleine , brique de construction , brique dure surcuite perforation verticale	1 800	1.69	1.47	1.29	1.04	2.03	1.71	1.47	1.30	1.16
Brque surcuite pour bâtiment	> 1 900	1.98	-	-	-	2.20	-	1.69	-	-
Brique surcuite enparment extérieur de 155mm d'épaisseur brique pleine à l'intérieur		1.81	1.56	1.36	1.09	-	-	-	-	-
B. brique silico-calcaires (DIN 106, feuille 1)	1 000	1.25	1.06	0.92	-	-	1.36	1.13	0.98	0.85
Brique creux silico-calcaire	1 200	1.35	1.16	1.00	0.79	1.77	1.45	1.21	1.05	0.92
Brique parforée silicio-calcaire, bloc creux silico-calcaire	1 400	1.56	1.35	1.18	0.95	1.93	1.62	1.38	1.21	1.07
Brique perforée silicio-calcaire	1 800	1.92	1.69	1.49	1.23	2.17	1.88	1.65	1.47	1.32
Brique pleine silico-calcaire	> 1 800	1.98	1.75	1.55	1.28	2.20	1.92	1.69	1.52	1.37
Brique pleine silico-calcaire, Brique silico-calcaire extra-dure										
C. briques de laitier (DIN 398)		1.56	1.35	1.18	0.95	1.93	1.62	1.38	1.21	1.07
Brique de laitier HS 100 et HS 150		1.79	1.56	1.38	1.12	2.09	1.79	1.55	1.38	1.23
Brique de laitier extra-dure HHS	600	0.96	0.81	0.69	0.53	1.41	1.10	0.89	0.76	0.65
D. blocs de bétoncellulaire (au gaz et à la mousse) (DIN 4165, feuille 1) durcis à la vapeur	800	1.08	0.91	0.78	0.61	1.52	1.21	0.99	0.85	0.73
	1 000	1.19	1.01	0.87	0.68	1.63	1.31	1.08	0.93	0.81
E. blocs pleins en béton léger p. ex de ponce naturelle, d'argille surcuite , de brique broyée, de scories, etc. (DIN 18151)	800	1.08	0.91	0.78	0.61	1.52	1.21	0.99	0.85	0.73
	1 000	1.19	1.01	0.87	0.68	1.63	1.31	1.08	0.93	0.81
	1 200	1.29	1.12	0.95	0.75	1.72	1.40	1.17	1.01	0.88
	1 400	1.48	1.27	1.11	0.88	1.87	1.56	1.31	1.15	1.01
	1 600	1.69	1.47	1.29	1.04	2.03	1.71	1.47	1.30	1.16
F. blocs creux en béton léger p. ex , de ponce naturelle, d'agrillesurcuite, de brique broyée, de scories, etc. (DIN 18151)	1 000	1.15	0.97	0.83	-	-	1.27	1.05	0.90	0.78
Blocs creux à deux évidements	1 200	1.23	1.05	0.90	-	-	1.35	1.11	0.96	0.86
	1 000	1.35	1.16	1.00	-	-	1.45	1.21	1.05	0.92
	1 400	1.23	1.05	0.90	-	-	1.35	1.11	0.96	0.86
Blocs creux à trois évidements	1 600	1.35	1.16	1.00	-	-	1.45	1.21	1.05	0.92

(1) la masse volumique se rapporte en général aux blocs , y compris éventuellement les cavités, mais non pas à la maçonnerie. Pour le paragraphe F seulement il faut mettre la

Annexes

TABLEAU NUMERIQUE A 19 (suite)

2. panneaux de grandes dimensions et éléments de construction sans joits en bétons légers et en bétons divers
(enduits sur une ou deux faces)

matériau	Masse volum kg/m ³	Epaisseur des murs extérieurs (mm)								Epaisseur des murs intérieurs (mm)							
		187.5	200	250	300	312.5	350	375	400	50	75	100	125	150	200	250	3000
Panneaux de murs en béton léger (DIN 18162) de ponce naturelle (planches de ponce)	800	-	-	-	-	-	-	-	-	1.90	1.60	1.38	1.21	1.08	-	-	-
Ponce de haute fourneau, agrile surcuite	1 000	-	-	-	-	-	-	-	-	2.01	1.74	1.52	1.35	1.21	-	-	-
béton de laitier	1 200	-	-	-	-	-	-	-	-	2.22	1.95	1.74	1.57	1.43	-	-	-
Ponce de vitrification, brique bryée, tuf lavé, béton léger, agrégats légers.	1 400	-	-	-	-	-	-	-	-	2.35	2.10	1.90	1.74	1.60	-	-	-
Béton léger à la chaux, béton cellulaire (au gaz ou à la mousse) (DIN 4164, étuvé à la vapeur)	500	0.71	0.67	0.55	0.47	0.46	0.41	0.39	0.36	1.57	1.26	1.05	0.91	0.79	0.64	0.53	0.45
	600	0.85	0.81	0.67	0.58	0.56	0.50	0.47	0.45	1.74	1.43	1.21	1.05	0.93	0.76	0.63	0.55
	800	1.01	0.96	0.86	0.70	0.67	0.61	0.58	0.54	1.90	1.60	1.38	1.21	1.08	0.89	0.76	0.66
	1 000	1.16	1.11	0.93	0.81	0.78	0.71	0.67	0.64	2.01	1.74	1.52	1.35	1.21	1.01	0.86	0.75
Béton d'agrégat non poreux (p.ex. gravier) mais poreux par les joints.	1 500	-	-	1.44	1.28	1.24	1.14	1.09	1.03	-	-	-	-	1.67	1.45	1.28	1.13
	1 700	-	-	1.68	1.50	1.46	1.35	1.29	1.23	-	-	-	-	1.85	1.63	1.46	1.33
	1 900	-	-	1.99	1.80	1.76	1.65	1.57	1.51	-	-	-	-	2.07	1.86	1.70	1.56
Bétons d'agrégats non poreux à joints fermés																	
Classe du béton B=< 120	-	-	-	2.32	2.12	2.08	1.97	1.90	1.83	-	-	-	-	2.26	2.08	1.93	1.80
Classe du béton B >= 160	-	-	-	2.58	2.40	2.36	2.24	2.17	2.10	-	-	-	-	2.43	2.27	2.14	2.02
Bétons légers d'après DIN 4232 et parois exécutées par jet d'après DIN 4103	800	1.01	0.96	0.86	0.70	0.67	0.61	0.58	0.54	1.90	1.60	1.38	1.21	1.08	0.89	0.76	0.66
	1 000	1.16	1.11	0.93	0.81	0.78	0.71	0.67	0.64	2.01	1.74	1.52	1.35	1.21	1.01	0.86	0.75
	1 200	1.41	1.35	1.16	1.01	0.98	0.90	0.85	0.81	2.22	1.95	1.74	1.57	1.43	1.21	1.05	0.93
	1 400	1.63	1.56	1.35	1.19	1.16	1.06	1.01	0.96	2.35	2.10	1.90	1.74	1.60	1.38	1.21	1.08
	1 600	1.89	1.83	1.60	1.42	1.39	1.28	1.22	1.17	2.48	2.26	2.08	1.93	1.80	1.58	1.41	1.27

TABLEAU NUMERIQUE A 19 (suite)

3. Maçonnerie et béton avec couches calorifuges, enduits aux deux faces,
avec produits calorifuges fibreux y compris support d'enduit

(les chiffres du tableau sont également valables pour des constructions à pans de bois avec remplissage par les matériaux indiqués)

Matériau	Masse volu. Kg/m ³	Epa- seur mm	Murs extérieurs								Murs intérieurs					
			Plaques légères de construction en fibre de bois (DIN 1101)			Plaques légères isolants fibreux (DIN 18165)					Plaques légères de const en fibres de bois (DIN 1101)		Plaques de liège isolants fibreux (DIN 18165)			
			15 mm	25 mm	35 mm	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	15 mm	25 mm	10 mm	15 mm	20 mm	30 mm
Brique perforée , brique creuse de construction (DIN105)	1 400	115	1.69	1.30	1.11	1.41	1.19	1.04	0.92	0.83	1.48	1.17	1.25	1.08	0.96	0.77
		175	1.42	1.13	0.99	1.21	1.05	0.93	0.83	0.75	1.26	1.03	1.10	0.96	0.86	0.71
Brique pleine , brique de construction , brique dure sucuite à Perforation verticale (DIN 105)	1 400	240	1.20	0.99	0.88	1.05	0.93	0.83	0.75	0.69	1.09	0.91	0.97	0.86	0.78	0.65
		115	1.85	1.39	1.18	1.52	1.27	1.10	0.96	0.86	1.60	1.24	1.34	1.14	1.00	0.80
Brique perforée silico-calcaire (DIN 106 feuille 1)	1 400	240	1.38	1.11	0.97	1.19	1.03	0.92	0.82	0.74	1.24	1.01	1.08	0.95	0.85	0.70
		115	1.80	1.34	1.15	1.47	1.24	1.07	0.95	0.85	1.56	1.20	1.30	1.12	0.98	0.79
Brique de laitier HS 100 et HS 150 (DIN 398)	1 400	175	1.52	1.19	1.03	1.28	1.10	0.97	0.86	0.78	1.35	1.08	1.15	1.01	0.90	0.73
		240	1.31	1.05	0.93	1.12	0.99	0.88	0.79	0.72	1.17	0.96	1.02	0.91	0.82	0.68
Brique pleine silico-calcaire (DIN 106 feuille 1)	≥ 1 800	115	1.98	1.46	1.23	1.60	1.33	1.15	1.00	0.89	1.69	1.30	1.40	1.19	1.04	0.83
		175	1.79	1.34	1.15	1.46	1.24	1.07	0.94	0.84	1.55	1.20	1.30	1.12	0.98	0.79
Blocs pleins en béton léger (DIN 18152)	1 000	240	1.53	1.20	1.04	1.29	1.11	0.98	0.87	0.79	1.35	1.09	1.17	1.01	0.90	0.74
		115	1.53	1.19	1.04	1.29	1.11	0.97	0.87	0.78	1.35	1.08	1.16	1.01	0.90	0.73
	1 400	175	1.25	1.01	0.91	1.08	0.95	0.85	0.77	0.70	1.13	0.93	0.99	0.88	0.79	0.66
		240	1.04	0.87	0.78	0.92	0.82	0.75	0.68	0.63	0.95	0.81	0.85	0.77	0.70	0.60
	1 400	115	1.74	1.31	1.13	1.43	1.21	1.05	0.93	0.84	1.52	1.18	1.28	1.10	0.97	0.78
		175	1.46	1.15	1.00	1.24	1.07	0.95	0.85	0.76	1.30	1.04	1.12	0.98	0.87	0.72
Béton léger (DIN 4232)	1 600	240	1.25	1.01	0.90	1.08	0.95	0.85	0.77	0.70	1.13	0.93	0.99	0.88	0.79	0.66
		125	1.78	1.35	1.15	1.47	1.23	1.07	0.94	0.85	1.54	1.21	1.30	1.11	0.98	0.79
Béton de gravier et gravillo à joint fermé (DIN 1047)	1 600	187.5	1.52	1.19	1.03	1.28	1.11	0.97	0.86	0.78	1.35	1.08	1.16	1.01	0.90	0.73
		250	1.32	1.07	0.94	1.14	1.00	0.89	0.80	0.73	1.19	0.98	1.04	0.92	0.83	0.68
Béton de gravier et gravillo à joint fermé (DIN 1047) B ≥ 120	1 600	125	2.14	1.55	1.29	1.70	1.40	1.20	1.03	0.92	1.81	1.37	1.49	1.25	1.08	0.85
		187.5	1.94	1.44	1.21	1.58	1.31	1.13	0.99	0.88	1.67	1.28	1.39	1.18	1.03	0.82
B ≤ 160	1 600	250	1.78	1.34	1.15	1.47	1.23	1.07	0.94	0.85	1.54	1.21	1.30	1.11	0.98	0.79
		125	2.26	1.61	1.33	1.78	1.45	1.23	1.06	0.94	1.89	1.41	1.54	1.29	1.11	0.87
	1 600	187.5	2.10	1.52	1.27	1.67	1.37	1.18	1.02	0.91	1.78	1.35	1.46	1.23	1.07	0.84
		250	1.94	1.44	1.22	1.58	1.31	1.13	0.99	0.88	1.67	1.28	1.39	1.18	1.03	0.82

TABLEAU NUMERIQUE A 19 (suite)

4. panneaux de mur en plâtre de grandes dimensions (DIM 18163)
par parois intérieures

Matériaux	Masse volumique kg/m ³	Epaisseur du mur (mm)					
		50	60	75	100	125	150
Plâtre poreux	600	1.90	1.77	1.60	1.38	1.21	1.08
	700	1.98	1.85	1.69	1.46	1.30	1.16
Plâtre avec matériaux de remplissage , cavités ou pores	900	2.14	2.02	1.85	1.63	1.46	1.32
Plâtre	1 000	2.22	2.10	1.95	1.74	1.57	1.43
Plâtre et produits d'addition en mélange	1 200	2.35	2.24	2.10	1.90	1.74	1.6 0

TABLEAU NUMERIQUE A 20

Coefficient K des toitures [kcal/m².h.°C° (extrait de DIN 4701)

1. toitures industrielles en plaques de béton léger et
2 épaisseurs de cartons bitumés

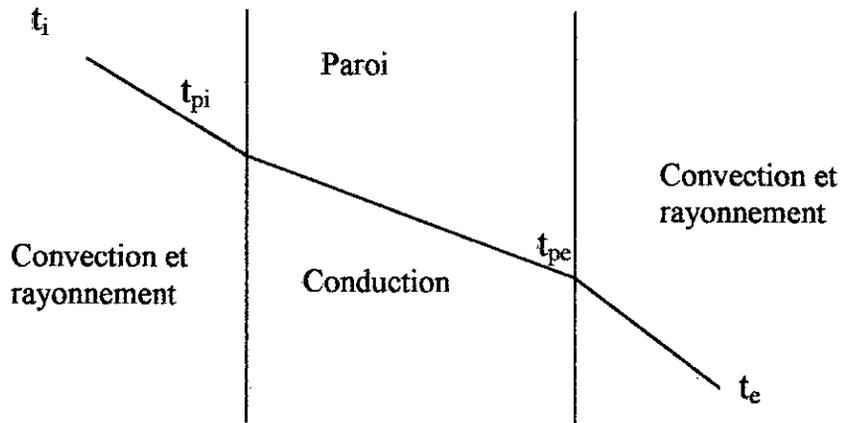
Nature et épaisseur de la plaque en béton léger (mm)	Coefficient k pour une masse volumique de		Nature et épaisseur de la plaque en béton léger (mm)	Coefficient
	500 kg/m ³	600 kg/m ³		
Béton cellulaire 7.5	1.44	1.67	Plaques creuses 60	2.15
(au gaz ou à la 10.0	1.18	1.38	En béton de 80	1.84
mousse) sans 12.5	1.00	1.18	Ponce DIN 100	1.60
enduit à la 15.0	0.86	1.02	4027 et plaques 120	1.42
sous-face 17.5	0.76	0.61	pleines 140	1.27
20.0	0.68	0.82	en ponces	

TABLEAU NUMERIQUE A 20 (suite)

2. toitures

Types	Couche isolante additionnelle (mm) en													
	0	Plaques légères de construction (DIN 1101) en fibres de bois						Plaques de liège, calorifuges fibreux (DIN 18165)						
		15	25	35	50	75	100	10	15	20	25	30	35	40
a) toitures en pente														
tuiles en terre cuite, tuiles en ciment, plaques d'amiante ciment, tôle ondulées ou ardoises sur liteaux, ventilés ardoises ou tôles sur voligeage	4.80	2.94	1.85	1.54	1.09	0.78	0.61	-	1.45	1.23	1.06	0.94	0.84	0.76
bois de 22 mm	2.56	2.38	1.43	1.20	0.91	0.69	0.55	1.35	1.15	1.01	0.89	0.81	0.73	0.67
b) toitures plates														
toitures en bois, carton bitumé sur voligeage	1.56	1.30	1.05	0.93	0.74	0.58	0.48	1.12	0.98	0.89	0.79	0.72	0.66	0.61

Annexes



Transmission globale de la chaleur à travers une paroi

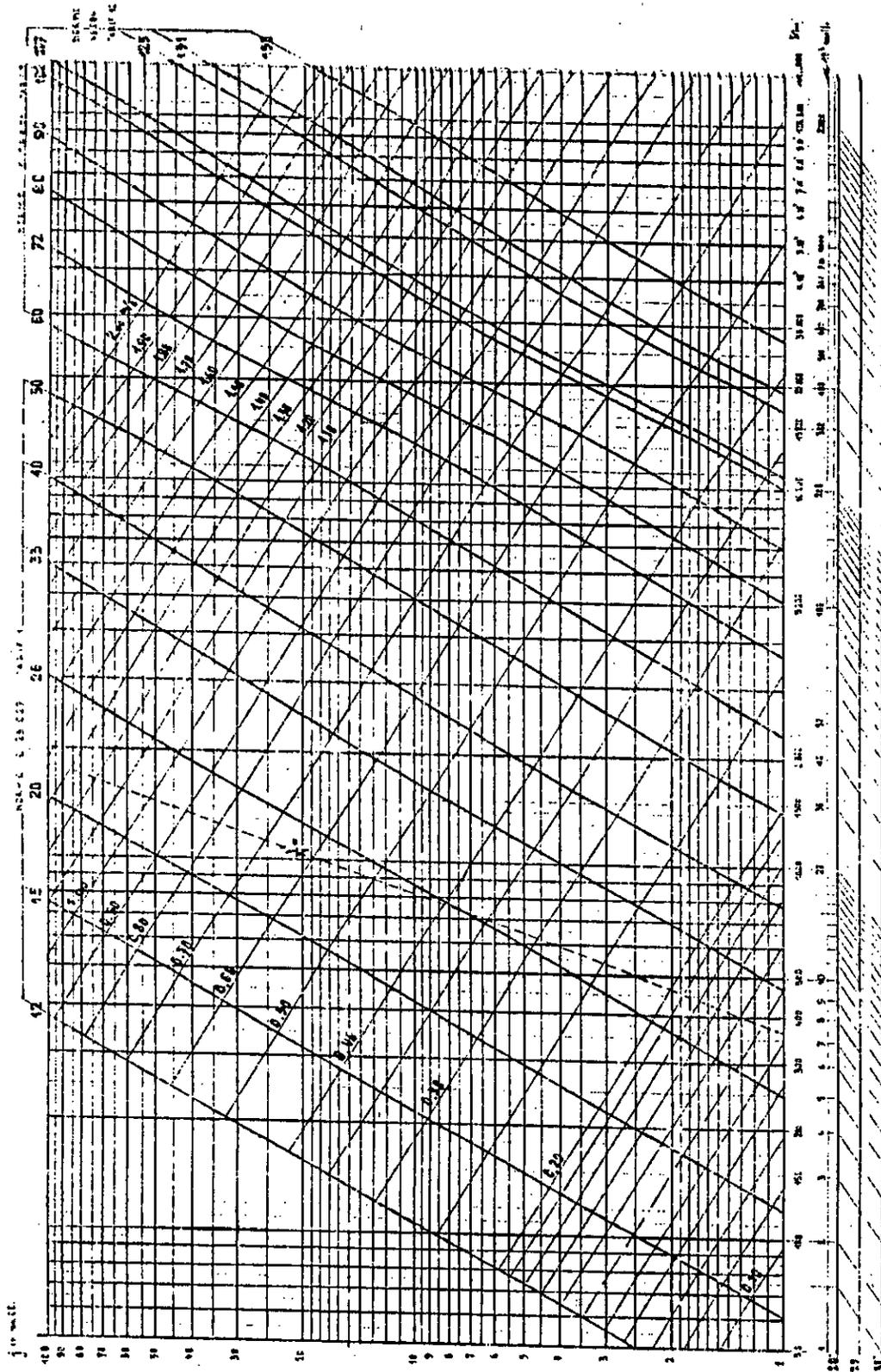


FIG. 234

Abaque III. 1

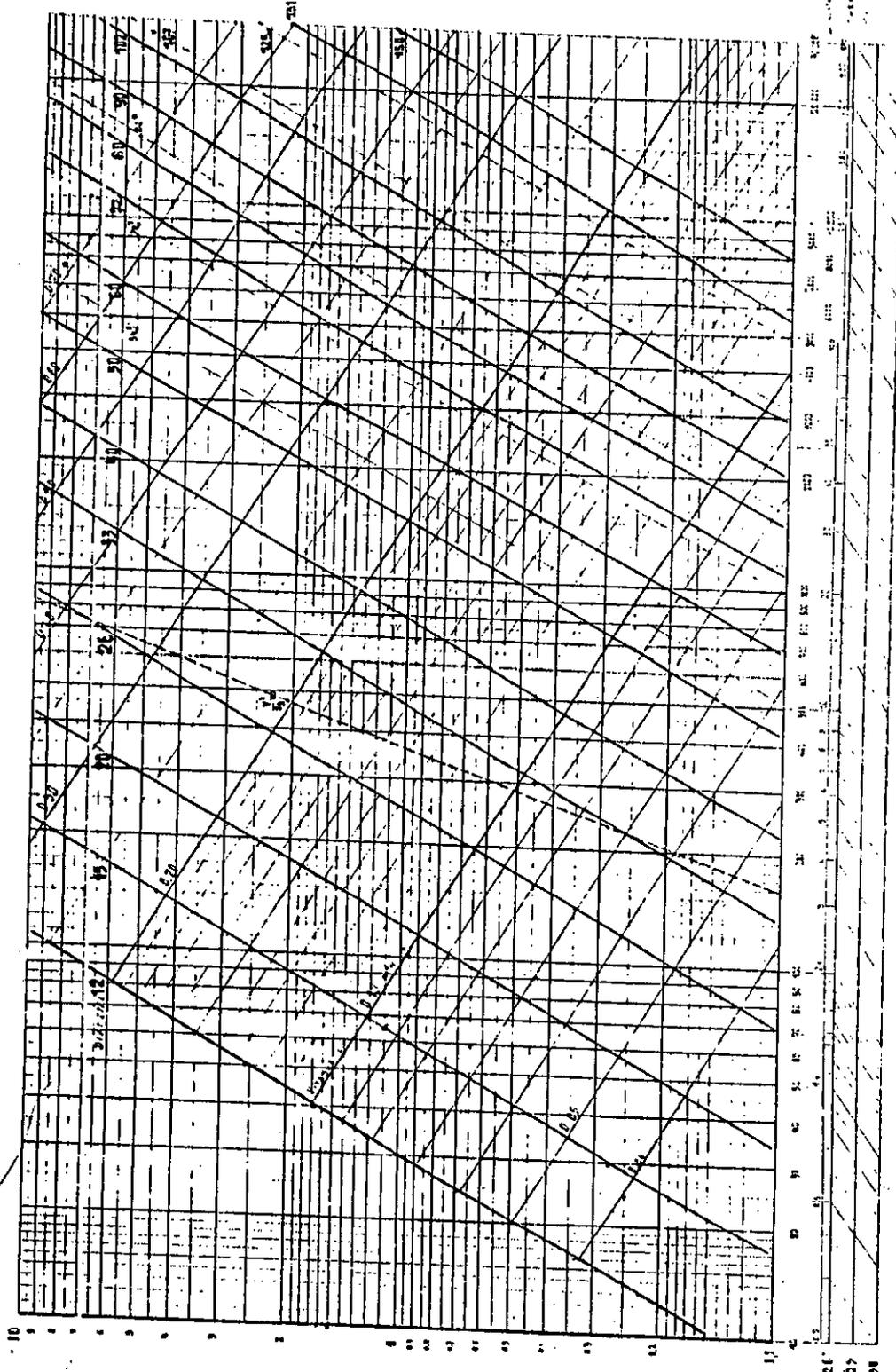


FIG. 233

Abaque III. 1

There 27 28

1. Surface des radiateurs fonte, pour un élément en m².

Types	Hauteurs en mètres					
	1,07	0,93 0,95	0,78 0,80	0,61 0,65	0,46 0,45	0,33 0,35
N° 4.....		0,30 0,32	0,24	0,19	0,14	
N° 6.....	0,60	0,46	0,38	0,28	0,20	0,15
N° 3.....	1,06 0,30		0,76 0,20			
N° 2.....	1,05 0,19	0,91 0,16	0,76 0,125	0,095		

Tableau III. 7

f) COEFFICIENTS K

D'après les constructeurs les coefficients « moyens » des radiateurs fonte ont les valeurs suivantes pour $T_m - t_i = 60$ °C :

TYPE	EAU	VAPEUR
N° 2.....	8,5	9,5
N° 3.....	8	9
N° 4.....	7,5	8,5
N° 6.....	7	7,5

Tableau III. 8