

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



UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU  
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de master professionnel en génie mécanique

Spécialité : Energétique

Option : Froid, Chauffage et Climatisation

### *Thème*

*La rénovation des installations de  
chauffage de l'hôtel AMRAOUA*

Proposé par :

M<sup>r</sup> B.SAMAH

Réalisé par :

M<sup>r</sup> KACI Ghiles

M<sup>r</sup> KACI Juba

Promotion

2015/2016

## *REMERCIEMENTS*

Nous tenons à exprimer ici notre grande reconnaissance à <sup>Mr B.SAMAH</sup>, enseignant à l'UMMTO, pour nous avoir proposé ce thème. Nous remercions aussi l'ensemble des enseignants du département Génie Mécanique.

Nous remercions, Mr DJABER, ingénieur en génie climatique, co-promoteur de ce mémoire de fin d'études, de nous avoir orientés et conseillés.

Nous remercions, Mr DAHMOUS, enseignant au département d'architecture à l'UMMTO, de nous avoir orientés et conseillés.

Enfin, nos remerciements vont à messieurs les membres du jury qui ont accepté d'examiner et de juger notre travail.

# DEDICACES

*Je dédie ce mémoire*

*A nos très chers parents  
qui nous ont prodigués avec amour et patience  
leurs précieux réconfort dans le long périple  
de notre cursus de formation.*

*A tous nos proches  
de notre cercle familial et amical,  
pour leurs soutien moral et leurs encouragements.*

*Ainsi qu'à l'ensemble de nos professeurs  
qui nous ont nourri de leurs savoir et de leurs  
expériences.*

# Nomenclature

| Symbole            | Signification                                                                      | Unités             |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| $A_k$              | Aires des parois                                                                   | $m^2$              |
| $b_u$              | coefficient de réduction de température                                            | /                  |
| $C_p$              | Chaleur spécifique                                                                 | $KJ/kg^\circ C$    |
| $d$                | Diamètre                                                                           | $m$                |
| $e$                | Epaisseur                                                                          | $m$                |
| $f_{g1}$           | Facteur correctif pour tenir compte de la variation de la température extérieure   | /                  |
| $f_{g2}$           | Coefficient de réduction pour l'écart de température effectif du sol               | /                  |
| $f_{ij}$           | Coefficient de correction de la température des pièces adjacantes                  | /                  |
| $G_w$              | Facteur correctif pour tenir compte de l'influence de l'eau de la nappe phréatique | /                  |
| $G_e$              | Quantité d'eau à éliminer                                                          | $g/h.pers$         |
| $H_{mt}$           | Hauteur manométrique                                                               | $mce$              |
| $H_T$              | Coefficient de déperdition par transmission                                        | $W/^\circ C$       |
| $H_v$              | Coefficient de déperdition par ventilation                                         | $W/^\circ C$       |
| $H_r$              | Déperdition par renouvellement d'air du local non chauffé                          | $Watt$             |
| $h$                | Enthalpie                                                                          | $KJ/kg_{as}$       |
| $h_c$              | Coefficient de transmission thermique par convection                               | $W/m^2^\circ C$    |
| $J$                | Perte de charge unitaire                                                           | $Pa$               |
| $L_v$              | Chaleur latente                                                                    | $KJ/kg$            |
| $L$                | Longueur                                                                           | $m$                |
| $l$                | Largeur                                                                            | $m$                |
| $l_l$              | Longueur intérieure de la liaison                                                  | $m$                |
| $\dot{m}_{ve}$     | Quantité d'humidité dégagée                                                        | $Kg/s$             |
| $N$                | taux de renouvellement d'air                                                       | $h^{-1}$           |
| $n_{min}$          | Taux de renouvellement d'air                                                       | $h^{-1}$           |
| $P$                | puissance                                                                          | $Watt$             |
| $Q$                | Charge calorifique ou frigorifique                                                 | $Watt$             |
| $Q_{vt}$           | Débit total                                                                        | $m^3/h$            |
| $q_N$              | Débit nominal                                                                      | $m^3/h$            |
| $R_i$              | Résistance thermique                                                               | $m^2^\circ C/W$    |
| $S$                | Surface                                                                            | $m^2$              |
| $T$                | Température                                                                        | $^\circ C$         |
| $U_{\acute{e}q,k}$ | coefficient de transmission thermique équivalent                                   | $W/m^2^\circ C$    |
| $U_k$              | Coefficient de transmission surfacique                                             | $W/m^2^\circ C$    |
| $V_i$              | Volume d'air                                                                       | $m^3$              |
| $\dot{V}_{min}$    | Débit d'air minimal requis pour des raisons d'hygiène                              | $m^3/h$            |
| $v_s$              | Volume spécifique                                                                  | $m^3/kg_{as}$      |
| $v$                | Vitesse                                                                            | $m/s$              |
| $X$                | Teneur en eau                                                                      | $kg_{eau}/kg_{as}$ |

|               |                                            |                      |
|---------------|--------------------------------------------|----------------------|
| $\gamma$      | Taux d'induction d'air                     | %                    |
| $\lambda$     | Conductivité thermique                     | $W/m^{\circ}C$       |
| $\Delta P_l$  | Pertes de charge linéaire                  | Pascal               |
| $\Delta P_s$  | Pertes de charge singulière                | Pascal               |
| $\Delta T$    | Différence de température                  | $^{\circ}C$          |
| $\rho$        | Masse volumique                            | $Kg/m^3$             |
| $\Phi$        | Flux thermique                             | Watt                 |
| $\phi$        | Déperdition calorifique                    | Watt                 |
| $\varphi, HR$ | Humidité relative                          | %                    |
| $\xi$         | Coefficient de pertes de charge singulière | /                    |
| $\varepsilon$ | Facteur d'émission ou d'émissivité         | /                    |
| $\sigma$      | Constante de Stefan – Boltzman             | $W/m^2 \text{ } ^4K$ |
| $\tau$        | Taux de brassage                           | vol/h                |
| $\psi_l$      | Coefficient de transmission linéique       | $W/m^{\circ}C$       |

| <b>Indices</b> | <b>significations</b>           |
|----------------|---------------------------------|
| ah             | air humide                      |
| as             | air sec                         |
| atm            | atmosphérique                   |
| c              | chaude                          |
| ch             | chaudière                       |
| cond           | conduction                      |
| conv           | convection                      |
| CTA            | centrale de traitement de l'air |
| e              | extérieur                       |
| er             | effective                       |
| f              | froide                          |
| g              | en contact avec le sol          |
| h              | humide                          |
| i              | intérieur                       |
| i              | nombre de couche                |
| inf            | infiltration                    |
| j              | adjaçante                       |
| m              | mélange                         |
| man            | débit d'air neuf                |
| mar            | débit d'air recyclé             |
| max            | maximum                         |
| min            | minimum                         |
| moy            | moyenne                         |
| ray            | rayonnement                     |
| r              | rosée                           |
| s              | sèche, soufflé                  |
| sat            | saturé                          |
| tot            | totale                          |
| v              | vapeur d'eau                    |

# SOMMAIRE

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Introduction générale..... | 01 |
|----------------------------|----|

## Chapitre I : Généralités

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| Introduction .....                             | 02 |
| I.1 Conditionnement de l'air .....             | 02 |
| • But du conditionnement de l'air.....         | 02 |
| I.2 Propriétés de l'air humide.....            | 03 |
| • Degré hygrométrique .....                    | 04 |
| • Teneur en eau .....                          | 04 |
| • Enthalpie .....                              | 04 |
| • Volume spécifique .....                      | 04 |
| • Températures.....                            | 05 |
| I.3 Les différents types de chaleur .....      | 05 |
| • La chaleur sensible .....                    | 05 |
| • La chaleur latente .....                     | 05 |
| I.4 Notions de transfert de chaleur .....      | 06 |
| • Le transfert de chaleur par conduction ..... | 06 |
| • Le transfert de chaleur par convection ..... | 07 |
| • Le transfert de chaleur par rayonnement..... | 09 |

## Chapitre II : Données de base et calcul préliminaire

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Introduction .....                                   | 10 |
| II.1 Données relatives au site .....                 | 10 |
| • Architecture du local .....                        | 10 |
| • Implantation géographique .....                    | 10 |
| II.2 Données de base thermodynamique .....           | 11 |
| II.2.1 Conditions intérieures .....                  | 11 |
| II.2.2 Conditions extérieures .....                  | 12 |
| II.3 Calculs préliminaires .....                     | 13 |
| II.3.1 Coefficients de transmission surfacique ..... | 13 |
| Conclusion.....                                      | 16 |

## Chapitre III : Déperditions thermiques hivernal

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Introduction .....                                          | 20 |
| III.1 Expression générale des déperditions .....            | 20 |
| III.1.1 Déperditions par transmissions .....                | 21 |
| III.1.1-a Coefficient de déperdition vers l'extérieur ..... | 21 |
| III.1.1-b Déperditions à travers un local non chauffé ..... | 23 |
| • Calcul de $b_u$ dans le cas général .....                 | 23 |
| ❖ Principes .....                                           | 23 |
| ❖ Formule de calcul .....                                   | 24 |
| ❖ Exemple de calcul.....                                    | 24 |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.1.1-c Déperditions thermiques vers le sol .....                          | 26 |
| III.1.1-d déperditions thermiques vers les pièces chauffées adjacentes ..... | 27 |
| III.1.2 Déperditions thermiques de base par renouvellement d'air .....       | 27 |
| III.1.3 application au projet d'étude .....                                  | 30 |
| Conclusion .....                                                             | 39 |

## **Chapitre IV : Chauffage central**

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| IV.1 Introduction .....                                      | 39 |
| IV.2 Installation de chauffage central .....                 | 39 |
| IV.2.1 Installation de chauffage à eau chaude .....          | 40 |
| IV.2.2 Installation de chauffage à eau chaude par pompe..... | 41 |
| ➤ Généralités .....                                          | 41 |
| ➤ Disposition des canalisations.....                         | 42 |
| ○ Système bitube .....                                       | 42 |
| IV.3 Besoins d'eau chaude sanitaire .....                    | 44 |
| IV.3.1 Température d'utilisation de l'eau chaude .....       | 44 |
| IV.3.2 Consommations, estimations statistiques.....          | 45 |
| a) Consommation domestique .....                             | 45 |
| b) Débit .....                                               | 46 |
| IV.3.3 Mode de production d'eau chaude .....                 | 46 |
| ❖ Centralisée .....                                          | 46 |
| ❖ Fractionnée et décentralisée.....                          | 47 |
| ❖ Mixte.....                                                 | 47 |
| IV.3.4 Types d'appareils de production d'eau chaude .....    | 47 |

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| a) Producteurs d'eau chaude instantanée.....                        | 47 |
| b) Production d'eau chaude a accumulation .....                     | 47 |
| c) Production d'eau chaude semi-instantanée ou semi-accumulée ..... | 47 |
| IV.3.5 Principe et calculs .....                                    | 48 |
| IV.4 Calcul de la puissance de chauffage à installer.....           | 49 |
| IV.5 Générateur de chaleur .....                                    | 51 |
| a) GENERALITES .....                                                | 52 |
| b) APPLICATIONS.....                                                | 52 |
| c) COMPOSITION .....                                                | 52 |
| d) LE FOYER (OU CHAMBRE DE COMBUSTION) .....                        | 53 |
| - Le circuit du fluide .....                                        | 54 |
| - Les parcours des fumées .....                                     | 54 |
| e) LES CHAUDIERES FONTE.....                                        | 54 |
| IV.6 Calcul et dimensionnement des radiateurs.....                  | 56 |
| IV.6.1 Régime de température d'eau .....                            | 56 |
| IV.6.2 Choix des radiateurs .....                                   | 58 |
| IV.6.3 Application au projet d'étude .....                          | 59 |
| a) Détermination le nombre d'éléments de chaque radiateur.....      | 59 |
| b) Détermination du débit requis pour chaque radiateur .....        | 60 |
| c) Volume d'eau du radiateur .....                                  | 60 |

## **Chapitre V : Equipements de chauffage**

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| V.1 Introduction .....                               | 64 |
| V.2 Dimensionnement du réseau de la tuyauterie ..... | 64 |
| V.2.1 Mode de distribution de l'eau .....            | 64 |
| • Circulation naturelle (thermosiphon) .....         | 65 |
| • Circulation pulsée .....                           | 65 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| V.2.2 Pertes de charge dans le réseau de tuyauterie.....                              | 65 |
| V.2.2.1 Perte de charge linéaire .....                                                | 65 |
| V.2.2.2 Pertes de charge particulières .....                                          | 66 |
| V.2.2.3 Perte de charge totale .....                                                  | 66 |
| V.2.3 Calcul du réseau de tuyauterie .....                                            | 66 |
| V.3 Choix des pompes .....                                                            | 77 |
| • Application .....                                                                   | 77 |
| V.3.1 Choix des pompes de circulation pour le réseau d'eau chaude .....               | 77 |
| V.3.2 Choix de la pompe de recyclage d'eau chaude .....                               | 78 |
| V.4 Robinets d'isolement manuels et filtre à tamis .....                              | 79 |
| V.5 Dimensionnement des collecteurs .....                                             | 79 |
| • Application au projet .....                                                         | 79 |
| V.6 Choix du vase d'expansion.....                                                    | 80 |
| V.6.1 Volume total de l'installation .....                                            | 81 |
| • Volume du réseau de tuyauterie .....                                                | 81 |
| • Volume des radiateurs .....                                                         | 81 |
| • Volume des chaudières et leurs collecteurs .....                                    | 81 |
| V.6.2 La pression de gonflage.....                                                    | 82 |
| V.6.3 La pression de tarage .....                                                     | 82 |
| • Application .....                                                                   | 82 |
| V.7 Exigences requises pour la qualité et le traitement de l'eau d'alimentation ..... | 82 |

## **Chapitre VI : Aspect généraux du conditionnement de l'air**

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| VI.1 Introduction.....                                                | 84 |
| VI.2 Notions de conditionnement de l'air et de confort thermique..... | 84 |
| VI.3 Zone de confort thermique .....                                  | 84 |
| VI.4 Types d'installations de conditionnement de l'air .....          | 86 |
| VI.4.1 Installations centralisées .....                               | 86 |
| VI.4.2 Installations individuelles .....                              | 86 |
| VI.5 choix de l'installation de conditionnement de l'air .....        | 86 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| VI.6 Chauffage et climatisation par ventilo-convecteurs .....   | 87 |
| VI.6.1 Types des ventilo-convecteurs .....                      | 87 |
| VI.6.2 Description .....                                        | 87 |
| VI.6.3 Avantages et inconvénients des ventilo-convecteurs ..... | 88 |

## **Chapitre VII : Technique de ventilation et de climatisation**

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VII.1 Introduction .....                                                     | 89  |
| VII.2 Classification .....                                                   | 89  |
| VII.2.1 Classification de la ventilation .....                               | 90  |
| a) ventilation naturelle .....                                               | 90  |
| b) ventilation mécanique ou forcée .....                                     | 91  |
| VII.2.2 Application au projet d'étude .....                                  | 92  |
| <u><i>1<sup>er</sup> cas : (la ventilation)</i></u> .....                    | 92  |
| VII.2.2.1 La ventilation de base .....                                       | 92  |
| ➤ Système de ventilation idéale .....                                        | 92  |
| VII.2.2.2 Les débits de ventilation de base selon la norme NBN D50-001 ..... | 93  |
| VII.2.2.3 Choisir quel débit .....                                           | 94  |
| • Espaces destinés à l'occupation humaine .....                              | 94  |
| • Espaces non destinés à l'occupation humaine .....                          | 94  |
| • Espaces spéciaux .....                                                     | 94  |
| VII.2.3 Ventilation des sanitaires .....                                     | 95  |
| VII.2.3.1 Appareils d'extractions .....                                      | 96  |
| ➤ Application au projet d'étude .....                                        | 97  |
| VII.3 La CTAN (centrale de traitement de l'air neuf) .....                   | 106 |
| VII.4 Préchauffage de l'air neuf .....                                       | 107 |
| VII.5 Humidificateur de l'air .....                                          | 108 |
| VII.5.1 Application en saison hivernale .....                                | 108 |

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>2eme cas : (traitement de l'air)</i> .....                                           | 111 |
| VII.6 Installations à air et à eau .....                                                | 111 |
| VII.6.1 Installation de traitement d'air à ventilo-convecteurs (système Fan-Coil) ..... | 111 |
| VII.6.2. Types d'installation de ventilation .....                                      | 112 |
| • Ventilation par ventilo-convecteur (notre cas) .....                                  | 112 |
| VII.6.3 Le taux de brassage .....                                                       | 113 |
| VII.6.4 La diffusion de l'air .....                                                     | 114 |
| VII.6.5 Les différents débits d'air .....                                               | 115 |
| a) Débit d'air neuf .....                                                               | 115 |
| b) Débit d'air soufflé .....                                                            | 116 |
| c) Débit d'air mélangé.....                                                             | 116 |
| VII.6.5 Application en saison hivernale.....                                            | 118 |
| a. Conditions intérieures de base .....                                                 | 118 |
| b. Conditions extérieures de base .....                                                 | 118 |
| c. Exemple de calcul .....                                                              | 118 |
| VII.7 Ventilo-convecteurs .....                                                         | 122 |
| VII.7.1 Choix des ventilo-convecteurs .....                                             | 122 |
| a) Charge frigorifique ou calorifique .....                                             | 122 |
| b) Puissance frigorifique ou calorifique.....                                           | 122 |
| c) Puissance calorifique .....                                                          | 122 |
| d) Puissance frigorifique .....                                                         | 123 |
| e) ventilo-convecteurs horizontaux non carrossés .....                                  | 123 |

## **Chapitre VIII : Calcul des réseaux de gaines**

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Introduction .....                                                  | 126 |
| VIII-1 Le conduit d'air (gaines de soufflage et d'extraction) ..... | 126 |
| VIII-2. Calcul des réseaux de gaines .....                          | 126 |
| VIII-3 Etude des pertes de charge .....                             | 127 |
| VIII-3.1 Perte de charges réparties .....                           | 127 |

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| VIII-3.2 Pertes de charges singulières .....             | 127 |
| VIII-3.3 Pertes de charge totales .....                  | 128 |
| VIII-4 Méthode de calcul des gaines .....                | 128 |
| VIII-5 Principe de calcul des deux méthodes .....        | 129 |
| VIII-6 Gain de chaleur de la gaine .....                 | 129 |
| VIII-7 Equilibrage des réseaux des conduits .....        | 130 |
| a. Règle de l'équilibrage .....                          | 130 |
| b. Réalisation d'un équilibrage .....                    | 130 |
| c. Calcul des diaphragmes .....                          | 130 |
| VIII-8 Calcul des pertes de charges .....                | 131 |
| VIII-9 Dimensionnement du ventilateur de soufflage ..... | 137 |
| Conclusion Générale .....                                | 138 |



# ***Introduction générale***

Pourquoi entreprendre une rénovation de son système de chauffage ? Pour améliorer les caractéristiques techniques, esthétiques et réglementaires de celui-ci afin d'offrir une meilleure qualité de vie aux occupants. Le chauffage est un élément essentiel à notre bien-être. Il convient de profiter d'un système moderne pour le confort de chacun et pour répondre également aux besoins en termes de fourniture d'eau chaude sanitaire.

L'être humain a besoin d'une atmosphère pour son bien être, cette dernière doit répondre aux critères du confort thermo physiologique de l'homme.

On considère généralement que le rôle d'une installation de chauffage est de chauffer en hiver les pièces d'habitation de l'être humain. Sa tâche consiste plus précisément à réguler le dégagement de chaleur du corps humain pendant la saison la plus froide, en réchauffant son environnement, et assurer à l'être humain un confort thermo physiologique.

C'est dans ce cadre qu'on réalisera une étude de conception qui traitera les différents types de système de chauffage à installer.

La première partie consiste à une étude de chauffage central avec ventilation centralisée des quatre étages résidentiels (les chambres de l'hôtel) tandis que l'autre partie est une étude de traitement de l'air du RDC (système air-eau).

**Introduction :**

L'énergie thermique est l'énergie cinétique d'un objet, qui est due à une agitation désordonnée de ses molécules et de ses atomes. Les transferts d'énergie thermique entre corps sont appelés transferts de chaleur et jouent un rôle essentiel en thermodynamique. Ils atteignent un équilibre lorsque la température des corps en contact est égale.

Lors de la mise en contact entre deux corps, un échange d'énergie thermique se produit. Le point d'équilibre est atteint lorsque les deux corps ont atteint la même température. La notion d'équilibre est une notion transitive. Si un corps A est en équilibre avec B, et que ce corps B est en équilibre avec un corps C, alors A et C sont aussi en équilibre. A, B et C ont la même température. Au début du XIX siècle, il a été jugé que cette loi, qui semble tenir du simple bon sens, méritait d'être formulée comme le principe de la thermodynamique.

Bien que difficile à définir formellement, la température est une notion utilisée dans la vie courante, car facile à observer. Pour mesurer la température d'un corps, il suffit de le mettre en contact avec un thermomètre (par exemple un thermomètre à mercure), et d'en mesurer la graduation à l'équilibre thermique.

**I.1 Conditionnement de l'air :**

Conditionner l'air d'un local consiste à préparer et introduire de façon continue dans le local une certaine quantité d'air dont les caractéristiques sont telles que les conditions d'ambiance du local sont réalisées. Ces conditions portent sur :

- La température de l'air ;
- Son humidité ;
- Son renouvellement ;
- Sa pureté.

Il nécessite un ensemble d'opérations qui consiste en sa préparation et son traitement en vue de l'amener à des conditions convenables, dans les locaux de séjours ou dans les locaux industriels indépendamment des conditions extérieures.

- **But du conditionnement de l'air :**

L'objectif est de réaliser un microclimat intérieur confortable quelles que soient les conditions météorologiques extérieures et les apports de chaleur internes au local. Ces

conditions météorologiques et ces internes définissent les charges que doit équilibrer le système de climatisation. Suivant la période pour laquelle est conçu ce système, on parle de climatisation d'hiver, d'été ou annuelle.

## I.2 Propriétés de l'air humide :

L'air ambiant d'un local, quel qu'il soit, contient une certaine quantité d'eau, présente sous forme de vapeur ; on a par conséquent affaire à un mélange binaire d'air sec et de vapeur d'eau.

$$\text{AIR HUMIDE} = \text{AIR SEC} + \text{VAPEUR D'EAU}$$

On peut le considérer avec une bonne approximation comme un mélange de gaz parfaits non réactif obéissants à la loi de Dalton ce qui permet d'écrire :

- a. La pression :  $P_{atm} = P_{as} + P_v$
- b. Le volume :  $V_{ah} = V_{as} = V_v$
- c. La température :  $T_{ah} = T_{as} = T_v$

L'air est essentiellement composé d'azote (78%), et de (21%) d'oxygène ainsi que d'autres gaz, à des proportions faibles tels que l'argon, le  $\text{CO}_2$ , le CO....

L'air ne peut pas absorber qu'une quantité limitée de vapeur d'eau, cette quantité est une fonction croissante de la température ; une fois que l'air ne peut plus absorber de vapeur d'eau, on dit alors qu'il est saturé en humidité, afin de retirer de la vapeur d'eau de l'air, il suffit de la refroidir ce qui provoque la condensation de cette vapeur ; pour le charger en vapeur d'eau, il faut au contraire le réchauffer.

Dans un bâtiment, cette quantité de vapeur est variable suivant les pièces et leur occupation.

On peut d'ailleurs la caractériser de diverses manières:

- Soit par **la teneur en eau** de l'air (Humidité absolue),
- Soit par **le degré hygrométrique** de l'air (Humidité relative),
- Soit par **la pression partielle de la vapeur** contenu dans l'air d'un local.

- **Degré hygrométrique ( $\varphi$ ) :**

Le degré hygrométrique de l'air d'un local est également appelé *humidité relative*, elle est comprise entre 0 et 1 [on la donne en (%)] caractérisant l'état d'humidité de l'air.

On compare en fait la pression de vapeur d'eau d'un air ambiant à la pression de vapeur d'eau qu'il aurait s'il était **saturé**, c'est-à-dire s'il ne pouvait plus contenir d'eau sous forme de vapeur, à la température  $T_s$

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{sat}} \quad (1.1)$$

Si  $\varphi = 1$  alors l'air est dit saturé.

Si  $\varphi = 0$  alors l'air est dit sec.

- **Teneur en eau ( $X$ ) :**

La teneur en eau de l'air d'un local est également appelée *l'humidité absolue* ou encore *humidité spécifique* de l'air de ce local.

Elle est définie comme étant le rapport de la masse de vapeur d'eau sur la masse d'air sec contenue dans le mélange qui s'exprime en ( $\text{kg}_{\text{eau}}/\text{kg}_{\text{as}}$ )

$$X = \frac{m_v}{m_{as}} \quad (1.2)$$

- **Enthalpie ( $h$ ) :**

Elle représente la quantité de chaleur (sensible + latente) contenue dans l'air humide dont la masse d'air sec est de 1kg.

Autrement l'enthalpie est la quantité totale de chaleur nécessaire pour faire passer 1kg d'air sec de 0 °C à la température T et au rapport de mélange.

- **Volume spécifique ( $v_s$ ) :**

Le volume spécifique, noté  $v_s$ , représente le volume occupé (à la pression atmosphérique) par l'air humide dont la masse d'air sec est égale à 1 [kg].

Il est défini par la relation: 
$$v_s = \frac{V_{AH}}{m_{AS}} \quad (1.3)$$

D'où :  $V_{AH}$  est le volume d'air humide considéré.

$m_{AS}$  Est la masse d'air sec contenue dans ce volume d'air humide.

- **Températures :**

1. **Température humide ( $T_h$ ) :** Elle est la température d'évaporation de l'eau dans l'air, elle se mesure au moyen d'un thermomètre à bulbe humide (ou thermomètre humide), dont le bulbe est entouré d'une gaze mouillée, balayé par de l'air en mouvement et protégé du rayonnement.
2. **Température de rosée ( $T_r$ ) :** Elle est la température maximale à laquelle l'air doit être refroidi pour qu'il devienne saturée en gardant la même teneur en eau.
3. **Température sèche ( $T_s$ ) :** Elle n'est autre que la température de l'air au sens usuel du mot, indiquée par la lecture sur un thermomètre ordinaire dont le bulbe est parfaitement sec.

### I.3 Les différents types de chaleur :

- **La chaleur sensible :**

Quand on chauffe l'eau de  $T_1 = 25\text{ °C}$  à  $T_2 = 70\text{ °C}$ , on remarque que la température monte au fur et à mesure que de la chaleur y est ajoutée sans que l'état de l'eau change. La hausse de chaleur est appelée chaleur sensible. De la même manière, quand de la chaleur est enlevée d'un objet et que sa température baisse, la chaleur retirée est également appelée chaleur sensible

- **La chaleur latente :**

Tous les corps purs sont capables de modifier leur état. Les solides peuvent devenir des liquides (glace en eau) et les liquides peuvent devenir des gaz (eau en vapeur), mais ces transformations nécessitent l'ajout ou le retrait de chaleur.

La chaleur qui provoque ces transformations est appelée chaleur latente.

Cependant la chaleur latente n'affecte pas la température d'une substance (par exemple, l'eau reste à  $100\text{ °C}$  quand elle bout). La chaleur ajoutée pour maintenir l'eau en ébullition est la chaleur latente.

La chaleur qui provoque un changement d'état sans modifier la température est appelée chaleur latente.

Une substance peut changer d'état physique de plusieurs façons, il existe donc plusieurs chaleurs latentes :

- ▶ chaleur latente de liquéfaction : quantité de chaleur pour passer de l'état solide à l'état liquide ;
- ▶ chaleur latente de vaporisation : quantité de chaleur pour passer de l'état liquide à l'état gazeux ;
- ▶ chaleur latente de condensation : quantité de chaleur pour passer de l'état gazeux à l'état liquide ;
- ▶ chaleur latente de solidification : quantité de chaleur pour passer de l'état liquide à l'état solide.

#### **I.4 Notions de transfert de chaleur :**

Un transfert de chaleur qu'il convient d'appeler transfert thermique ou transfert par chaleur est un transit d'énergie sous forme microscopie désordonnée.

Deux corps ayant la même température sont dits en « équilibre thermique ». Si leur température est différente, le corps le plus chaud cède de l'énergie au corps le plus froid : il y a transfert thermique, ou par chaleur.

L'étude des transferts thermiques complète l'étude de la thermodynamique en décrivant la manière dont s'opère le transfert d'énergie. A la différence de la thermodynamique, la thermocinétique fournit des informations sur le mode de transfert en situation de non-équilibre ainsi que sur les valeurs de flux de chaleur.

Le transfert de chaleur s'effectue par :

- conduction
- convection
- rayonnement
  
- **Le transfert de chaleur par conduction :**

Le transfert de chaleur par conduction passe de molécule (particule) en molécule. La chaleur se propage à l'intérieur d'un corps de particule à particule par interactions inter moléculaires, les particules étant au repos. Les molécules peuvent faire partie d'un même

corps ou de différents corps. Le transfert de chaleur par conduction se produit également dans les liquides et les gaz, au moment où les particules du fluide entrent en contact les unes avec les autres.

Il existe de bons conducteurs, p.ex. Les métaux (cuivre, acier, aluminium).

Il existe de mauvais conducteurs, également appelés isolateurs, notamment le bois, la pierre, la porcelaine, l'air sec, l'isolation.

Le transfert de chaleur par conduction ne nécessite aucun mouvement. C'est un transfert de chaleur typique en présence de matières solides.

Le mode de transmission est régi par la loi de Fourier qui stipule que le flux thermique transmis par conduction en un point donné est proportionnel au gradient de température existant en ce point.

La transmission de la chaleur par conduction est calculée d'après la loi de Fourier par la relation :

$$\Phi_{cond} = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1.4)$$

**dT/dx** : Variation de la température par unité de longueur lorsqu'on se déplace dans la direction de propagation de la chaleur.

L'application de la loi de Fourier à une paroi homogène, conduit à exprimer la puissance calorifique qui traverse une paroi donnée par l'équation fondamentale suivante :

$$\Phi = \frac{\lambda}{e} S (T_{pi} - T_{pe}) \quad (1.5)$$

**$\Phi$**  : Puissance thermique (Watt).

**e** : Epaisseur de la paroi (m).

**$\lambda$**  : coefficient de conduction thermique (conductivité thermique) ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

**S** : Surface de la paroi ( $m^2$ ).

**$T_{pi}$**  : Température de la paroi intérieure ( $^\circ C$ ).

**$T_{pe}$**  : Température de la paroi extérieure ( $^\circ C$ )

- **Le transfert de chaleur par convection :**

Le transfert de chaleur s'effectue d'un fluide (liquide ou gaz) vers un corps solide ou inversement, par exemple de l'air vers un mur, les particules se déplaçant les unes vers les autres. Si vous chauffez une quantité d'air à pression constante, le volume d'air augmente. La

densité de masse ( $\rho = \text{masse} / \text{volume}$ ) diminue au fur et à mesure que la température augmente. L'air chaud monte et il est remplacé par de l'air plus froid; ce mouvement produit une convection, c.-a-d. Une circulation naturelle. L'air sert de support thermique, d'intermédiaire.

Les molécules d'air absorbent la chaleur et la transportent.

Elles entrent ainsi en contact avec des molécules plus froides auxquelles elles cèdent leur chaleur. Ce contact produit un peu de conduction. Le transfert de chaleur s'intensifie quand la vitesse augmente ( $\Delta T$  plus grand). L'évacuation de chaleur est plus forte par grand vent que quand il n'y a pas de vent.

L'évacuation de la chaleur augmente de la vitesse au carré quand il y a convection.

En technique de chauffage, nous tenons compte de ce phénomène, notamment en attribuant un facteur d'orientation aux murs qui ont une exposition défavorable au vent.

Le flux de chaleur par convection est donné par la loi de Newton par la relation :

$$\Phi_{conv} = h_c \cdot S \cdot (T_p - T_\infty) \quad (\text{I.6})$$

Avec :

$\Phi_{conv}$  : Flux thermique par convection exprimé en W ;

$S$  : surface de l'élément considéré en  $\text{m}^2$  ;

$T_p$  : Température de la paroi en  $^\circ\text{C}$  ;

$T_\infty$  : Température du fluide en  $^\circ\text{C}$  ;

$h_c$  : Coefficient de transmission thermique par convection exprimé en  $\text{w}/\text{m}^2\text{C}$  et qui dépend de :

- La vitesse de circulation du fluide,
- L'écart de température ( $T_p - T_\infty$ ),
- La nature du fluide.

- **Le transfert de chaleur par rayonnement :**

A la température du zéro absolu, les électrons ne peuvent se déplacer : ils sont prisonniers des atomes. Par contre, tous les corps matériels, dont la température est supérieure à 0 K, sont capables d'émettre de l'énergie sous forme de rayonnement et d'en échanger entre eux.

Un corps à la température T émet des ondes de plusieurs fréquences différentes, et la répartition de cette énergie dépend de la température du corps.

La quantité d'énergie émise est liée à la température.

Le rayonnement est un mode d'échange d'énergie par émission et absorption de radiations électromagnétiques. L'échange thermique par rayonnement se fait suivant le processus :

- Emission : il y a conversion de l'énergie fournie à la source en énergie électromagnétique ;
- Transmission : la transmission de cette énergie électromagnétique se fait par propagation des ondes éventuellement absorption par le milieu traversé ;
- Réception : à la réception, il y a conversion du rayonnement électromagnétique incident en énergie thermique (absorption).

On peut expliquer le phénomène global du rayonnement de la façon suivante. Considérons un mur de surface S dont les faces sont respectivement maintenues aux températures  $T_1$  et  $T_2$ . On suppose que seule la surface située à droite échange de la chaleur par rayonnement avec le milieu ambiant à la température  $T_a$ .

D'après la loi de Stefan, le flux de chaleur échangé par rayonnement entre deux surfaces peut s'écrire :

$$\Phi_{ray} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_s^4 - T_a^4)$$

- $\Phi_{ray}$  : flux thermique par rayonnement exprimé en w ;
- S : surface d'échange en  $m^2$  ;
- $\sigma$  : constante de Stefan-Boltzmann égale à :  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$  ;
- $T_s^4$  : température de la surface du mur en Kelvin K ;
- $T_a^4$  : température ambiante en Kelvin K ;
- $\varepsilon$  : facteur d'émission ou émissivité du matériau.

**Introduction :**

Afin de réaliser des installations de climatisation satisfaisantes, dans des conditions économiques admissibles à toutes les exigences de l'hygiène des conditions dites de base sont nécessaires à connaître, a savoir :

- Température environnantes ;
- Dimensions, portes, fenêtres, constitutions des parois,
- Agencement intérieur, éclairage, moteurs, marchandises entreposées, personnes présentes, destination des locaux, types d'occupation.

Le présent chapitre a pour objet de déterminer les différents paramètres, dits de bases, intervenant dans les divers bilans ainsi que le dimensionnement des installations de traitement d'air ou de chauffage, climatisation et ventilation.

Ces paramètres de bases sont de deux types :

- Paramètres concernant le site.
- Paramètres de bases intérieurs et extérieurs.

**II.1 Données relatives au site**

Afin de pouvoir dimensionner une installation de traitement d'air, il est nécessaire de

Connaître certains paramètres se rapportant au local à étudier tels que :

- L'architecture du bâtiment.
- Son implantation géographique.

- **Architecture du local**

Le local est un hôtel situant à la haute ville de Tizi-Ouzou. Il est conçu en huit niveaux : deux sous-sols, rez-de-chaussée, étage technique, quatre étages résidentiels.

- **Implantation géographique**

D'après l'office national météorologique de Tizi-Ouzou, la crèche, nouvelle ville de Tizi-Ouzou, est implantée dans une région appartenant à la zone climatique B.

Lieu : haute ville, wilaya de Tizi-Ouzou

Latitude : 36°42°

Longitude : 4°2'27.01 "

Altitude : Z = 250 m.

## II.2 Données de base thermodynamique

### II.2.1 Conditions intérieures

Les conditions de base intérieure visant à créer dans les locaux, un climat favorable qui doit correspondre au mieux aux besoins physiologique et de confort thermique du corps humain. Pour cela, il est nécessaire de contrôler la température et le degré hygrométrique du local en question.

Il est nécessaire de considérer les facteurs essentiels suivants :

La température ; l'humidité de l'air ; le dégagement de chaleur lié à l'activité de l'individu (métabolisme) ; la pureté et la filtration de l'air.

Pour notre projet, il est recommandé d'assurer les conditions suivantes :

| Conditions intérieures          | Période hivernale |
|---------------------------------|-------------------|
| Température de base $T_b$ (°C)  | 21                |
| Humidité relative $\varphi$ (%) | 50                |

Les paramètres agissant sur le confort thermique et sur l'activité à l'intérieur du local étudié sont :

- La pureté de l'air.
- La température de l'air.
- Le degré hygrométrique.
- Le mouvement de l'air.

### II.2.2 Conditions extérieures

L'établissement des bilans thermiques estival ou hivernal et le dimensionnement des équipements adéquats nécessitent la connaissance des effets des évolutions climatiques extérieures (Température, humidité, vent, rayonnement,...).

On désigne par le climat, le comportement moyen du temps en un lieu ou en un territoire pour une certaine période de l'année tel qu'il résulte d'observation étalée sur plusieurs dizaines d'années. Par exemple, en Algérie, le mois de janvier est le mois le plus froid, alors que le mois d'août est le mois le plus chaud.

#### ➤ Période hivernale

La température extérieure qui intervient dans le calcul du bilan calorifique est la température moyenne enregistrée sur un certain nombre d'années.

Si on considère la plus basse température, cela conduira à un surdimensionnement inutile de l'installation, vu qu'elle est rarement atteinte.

D'après l'office national de la météorologie de Tizi-Ouzou, les valeurs moyennes de la température, du degré hygrométrique et de la vitesse du vent de mois de janvier de ces dix (10) dernières années sont :

- Température moyenne sèche :  $t_s = 6,4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Température moyenne humide :  $t_h = 4,9 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- Humidité relative moyenne :  $HR = 82\%$ .

- Vitesse moyenne du vent :  $V_{moy} = 0,93 \text{ m/s}$ .

- Température moyenne du sol est :  $t_{sol} = 3,8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### II-3 Calculs préliminaires :

Cette étape est primordiale lors de l'établissement d'un bilan thermique, puisque les déperditions dépendent des coefficients de transmission surfacique, c'est pour cette raison qu'il faut mettre en évidence la composition et les caractéristiques thermo-physiques de chaque paroi, afin de déterminer son coefficient de transmission surfacique.

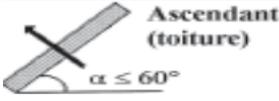
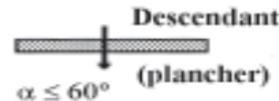
#### II-5.1. Coefficients de transmission surfacique :

La détermination du coefficient de transmission surfacique global d'une paroi quelconque constituée de plusieurs couches supposées parfaitement accolées et séparatrice de deux ambiances (intérieur et extérieur) de température différente est donnée par la relation :

$$U_k = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum R_i + \frac{1}{h_e}} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

- $\sum R_i = \sum \frac{e_i}{\lambda_i}$  ( $\text{m}^2\text{C/W}$ ).
- $\frac{1}{h_i}$  et  $\frac{1}{h_e}$  : Les résistances thermiques d'échanges superficiels intérieurs et extérieurs respectivement ( $\text{m}^2\text{C/W}$ ). (Tableau II.05)
- $\lambda$  : conductivité thermique ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ ).
- $e$  : l'épaisseur de la  $i^{\text{ème}}$  couche de la paroi (m).

| 1/h ( $\text{m}^2\text{C/W}$ )                                                                                                      | Paroi en contact avec :<br>- l'extérieur,<br>- un passage ouvert,<br>- un local ouvert. |                  |                                     | Paroi en contact avec :<br>- un autre local, chauffé ou non chauffé,<br>- un comble,<br>- un vide sanitaire. |                  |                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------|
|                                                                                                                                     | 1/h <sub>i</sub>                                                                        | 1/h <sub>e</sub> | 1/h <sub>i</sub> + 1/h <sub>e</sub> | 1/h <sub>e</sub>                                                                                             | 1/h <sub>e</sub> | 1/h <sub>e</sub> + 1/h <sub>e</sub> |
|  Latéral (Mur)<br>$\alpha > 60^\circ$            | 0,11                                                                                    | 0,06             | 0,17                                | 0,11                                                                                                         | 0,11             | 0,22                                |
|  Ascendant (toiture)<br>$\alpha \leq 60^\circ$   | 0,09                                                                                    | 0,05             | 0,14                                | 0,09                                                                                                         | 0,09             | 0,18                                |
|  Descendant (plancher)<br>$\alpha \leq 60^\circ$ | 0,17                                                                                    | 0,05             | 0,22                                | 0,17                                                                                                         | 0,17             | 0,34                                |

**Tableau II.5 :** Les valeurs des résistances thermiques d'échanges superficielles  $\text{m}^2\text{C/W}$  [07]

Pour les murs rideaux (simple vitrage plus volet) ; la valeur de  $U_k$  est déterminé selon le tableau suivant :

| Description                          | Menuiserie | Coefficient $U_k$                    |                                      |
|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                                      |            | (W/m <sup>2</sup> °C)<br>Sans volets | (W/m <sup>2</sup> °C)<br>Avec volets |
| <b>Fenêtre simple vitrage</b>        | bois       | 5                                    | 3,7                                  |
|                                      | métal      | 5,8                                  | 4,2                                  |
| <b>Double vitrage (5 à 7 mm air)</b> | bois       | 3,3                                  | 2,6                                  |
|                                      | métal      | 4                                    | 3,1                                  |
| <b>Double vitrage (7 à 9 mm air)</b> | bois       | 3,1                                  | 2,5                                  |
|                                      | métal      | 3,9                                  | 3,0                                  |

**Tableau II.06** : Valeurs du coefficient  $U_k$  pour les portes et les fenêtres. [05]

Très souvent, on pourrait en toute quiétude négliger la résistance d'encrassement : il s'agit d'un dépôt solide (boues, calcaire, agglomération de particules...) qui se forme irrégulièrement sur les parois.

Dans le présent travail, nous étudierons la composition des murs des locaux résidentiels (chambres de l'hôtel) et celle du RDC en outre on donnera les valeurs de coefficient de transmission surfacique  $U_k$  dans le tableau ci-dessous :

| Désignation                       | Composition          | Epaisseur (m) | Cond. thermique $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> c) | $\sum R_i$ (m <sup>2</sup> °c/W) | $U_k = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum R_i + \frac{1}{h_e}}$ |
|-----------------------------------|----------------------|---------------|------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Murs extérieur</b>             | -2 plaques de plâtre | 0.026         | 0.25                                           | 1,597506494                      | 0,57                                                       |
|                                   | -laine de roche      | 0.05          | 0.042                                          |                                  |                                                            |
|                                   | -béton armé          | 0.17          | 1.65                                           |                                  |                                                            |
|                                   | -béton préfabriqué   | 0.33          | 1.65                                           |                                  |                                                            |
| <b>Murs de séparations (Int.)</b> | -2 plaques de plâtre | 0.026         | 0.25                                           | 2,691982684                      | 0,34                                                       |
|                                   | -laine de roche      | 0.05          | 0.042                                          |                                  |                                                            |
|                                   | -béton armé          | 0.17          | 1.65                                           |                                  |                                                            |
|                                   | -laine de roche      | 0.05          | 0.042                                          |                                  |                                                            |
|                                   | -2 plaques de plâtre | 0.026         | 0.25                                           |                                  |                                                            |

|                           |                                         |                                  |                                |             |      |
|---------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------|------|
| <b>Plancher supérieur</b> | -plâtre                                 | 0.02                             | 0.35                           | 0.22714286  | 1,76 |
|                           | -dalle de compression de béton courant  | 0.2                              | R=0.14                         |             |      |
|                           | +hourdis<br>-revêtement granito         | 0.04                             | 1                              |             |      |
| <b>Plancher inférieur</b> | -plâtre                                 | 0.02                             | 0.35                           | 0.22714286  | 1,76 |
|                           | -dalle de compression de béton courant  | 0.2                              | R=0.14                         |             |      |
|                           | +hourdis<br>-revêtement granito         | 0.03                             | 1                              |             |      |
| <b>Portes opaques</b>     | -bois (pleines)                         | /                                | $U_k=2 \text{ W/m}^2\text{°c}$ |             | 2    |
| <b>Murs Rideaux</b>       | -verre simple +<br>-volets              | $U_k=3.7 \text{ W/m}^2\text{°c}$ |                                |             | 3,7  |
| <b>Murs intérieur</b>     | -2 plaques de plâtre                    | 0.026                            | 0.25                           | 1.190447619 | 0,71 |
|                           | -Laine de roche                         | 0.05                             | 0.042                          |             |      |
|                           | -briques creuses                        | 0.10                             | 0.65                           |             |      |
|                           | - laine de roche                        | 0.05                             | 0.042                          |             |      |
|                           | -2 plaques de plâtre                    | 0.026                            | 0.25                           |             |      |
| <b>Mur sanitaires</b>     | - plâtre                                | 0.02                             | 0.35                           | 0,214       | 2,3  |
|                           | -brique creuse                          | 0.05                             | R=0.10                         |             |      |
|                           | -plâtre                                 | 0.02                             | 0,35                           |             |      |
| <b>Plancher terrasse</b>  | -gravier                                | 0.09                             | 0.4                            | 1.94446429  | 0,46 |
|                           | -laine de roche                         | 0.06                             | 0.042                          |             |      |
|                           | - béton léger                           | 0.15                             | 1.6                            |             |      |
|                           | -dalle de compression de béton courant+ | 0.2                              | R=0.14                         |             |      |
|                           | hourdis                                 |                                  |                                |             |      |
| -plâtre                   | 0.02                                    | 0.35                             |                                |             |      |

Tableau II-07 : Caractéristiques des différents matériaux de construction utilisés

**Exemple de calcul :**

| Mur de séparation (inter.)                      |                            |       |                               |  |
|-------------------------------------------------|----------------------------|-------|-------------------------------|--|
| N <sup>0</sup>                                  | Constituants               | e(m)  | $\lambda(W/m^{2\circ})$<br>C) |  |
| 1                                               | 2 Plaque de plâtre<br>ba13 | 0.026 | 0.25                          |  |
| 2                                               | Laine de roche             | 0.05  | 0.042                         |  |
| 3                                               | Béton armé                 | 0.17  | 1.65                          |  |
| 4                                               | Laine de roche             | 0.05  | 0.042                         |  |
| 5                                               | 2 Plaque de plâtre<br>ba13 | 0.026 | 0.25                          |  |
| $U_k=1/ (0.22 + \sum R_i) = 0.34 W/m^{2\circ}C$ |                            |       |                               |  |
| Mur extérieur                                   |                            |       |                               |  |
| N <sup>0</sup>                                  | Constituants               | e(m)  | $\lambda(W/m^{2\circ})$<br>C) |  |
| 1                                               | Béton préfabriqué          | 0.33  | 1.65                          |  |
| 2                                               | Béton armé                 | 0.17  | 1.65                          |  |
| 3                                               | Laine de roche             | 0.05  | 0.042                         |  |
| 4                                               | 2 plaques de ba13          | 0.026 | 0.25                          |  |
| $U_k=1/ (0.22 + \sum R_i) = 0.57 W/m^{2\circ}C$ |                            |       |                               |  |

**Conclusion :**

La collecte de données climatique et la localisation géographique de l’hôtel AMRAOUA, nous ont permis d’avoir une prévision sur les températures de base intérieur et extérieur à prendre en considération dans l’étude.

Le calcul des coefficients de transmission surfacique repose sur la connaissance des paramètres thermo-physique des matériaux homogènes (plâtre, mortier...etc.), et hétérogènes (brique, entrevus...etc.) qui compose les parois ; toute fois en négligeant la résistance d’encrassement qui influe pas sur le calcul du coefficient  $U_k$  des parois, contrairement aux échangeurs de chaleur on la prendra toujours en compte. Par exemple, dans une chaudière classique, on observera une couche de suie du côté des fumées, et un dépôt de tartre du côté de l’eau.







**Introduction :**

Après avoir recensé les données de base nécessaire, on entame l'étude du bilan thermique hivernal pour le dimensionnement et le choix de l'installation de chauffage, cette étude consiste à estimer la puissance ou les besoins calorifiques qui représentent la quantité de chaleur à fournir pour chauffer les différents locaux, la charge thermique est calculée à partir des proportions de transmission et de ventilation.

Les déperditions thermiques par transmission incluent les déperditions vers l'extérieur à travers les parois ainsi que les flux thermiques dus au transfert thermique entre les pièces chauffées, lorsque les pièces sont chauffées à des températures différentes. Les déperditions thermiques par renouvellement d'air incluent les déperditions thermiques vers l'extérieur dues à la ventilation et aux infiltrations d'air à travers l'enveloppe du bâtiment, ainsi que les flux thermiques dus aux transferts d'air entre les différentes pièces à chauffées à l'intérieur du bâtiment.

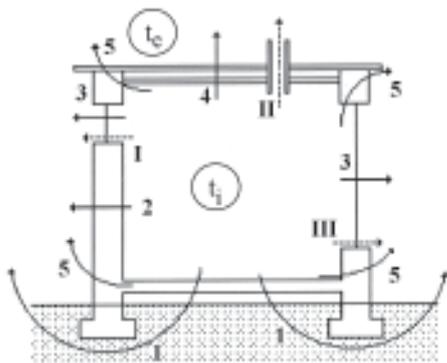
**III.1 Expression générale des déperditions :**

Le bilan thermique est une relation d'égalité entre les déperditions ajustées et les apports internes d'une part, et les besoins calorifiques d'autre part.

En pratique, les déperditions sont affectées de majorations pour tenir compte de certains facteurs d'influence. Ces déperditions ainsi majorées sont dites besoins calorifiques brutes.

On distingue deux types de déperditions :

- Déperdition par transmission de chaleur :  $\phi_{T,i}$
- Déperdition par renouvellement d'air et infiltrations  $\phi_{v,i}$



Renouvellement d'air  $\phi_{v,i}$

Sorties d'air I, II, III

Transmission  $\phi_{T,i}$

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Sol .....               | 1 |
| murs .....              | 2 |
| baies .....             | 3 |
| toiture .....           | 4 |
| points singuliers ..... | 5 |

| Type de pièce                                                                                               | Température intérieure de base $T_i$ en °C |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Séjours et chambres, cuisines, bureaux, halls, chambres d'hôtel, magasin, salles de classe, théâtres</b> | 20                                         |
| <b>Salles de bains, cabinets de consultation médicale</b>                                                   | 24                                         |
| <b>Pièces adjacentes, entrées, couloirs chauffés</b>                                                        | 15                                         |

Tableau III.1 choix des températures intérieures de base [1]

### III.1.1 Déperditions par transmissions :

On détermine les déperditions thermiques de base par transmission  $\phi_{T,i}$  [en W] d'une pièce à partir de l'écart de température entre intérieur  $T_i$  et l'extérieur  $T_e$  et des différents coefficients de déperdition thermique par transmission de la pièce  $H_T$  [en W/°C].

$$\phi_{T,i} = (T_i - T_e) \cdot (H_{T,ie} + H_{T,uie} + H_{T,ig} + \sum H_{T,ij}) \quad (\text{III.1})$$

Les indices des coefficients de déperdition thermique par transmission ont les significations suivantes :

- « **ie** » : déperdition thermique de la pièce chauffée directement vers l'extérieur (e).
- « **uie** » : déperdition thermique de l'intérieur vers l'extérieur (e) à travers des pièces non chauffées (u).
- « **ig** » : déperdition thermique de l'intérieur vers le sol (g).
- « **ij** » : déperdition thermique vers les pièces chauffées adjacentes à l'intérieur du bâtiment ou d'un bâtiment voisin.

#### III.1.1.a Coefficient de déperdition vers l'extérieur :

Les déperditions thermiques directes vers l'extérieur  $H_{T,ie}$  [en W/°C] sont calculées à l'aide des aires des parois  $A_k$  [en  $m^2$ ], des coefficients de transmission thermique des différentes parois  $U_k$  [en w / ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )] et en tenant compte des ponts thermiques.

On considère désormais les ponts thermiques dans la méthode de calcul de la charge thermique.

Les déperditions à travers une liaison, ou pont thermique,  $H_{li}$  pour une différence de température de  $1^\circ\text{C}$ , sont données par la formule :

$$H_{li} = \psi_l \cdot l_l \text{ (W/}^\circ\text{C)} \quad (\text{III.2})$$

Où :

- $\psi_l$  (en  $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ) représente le coefficient de transmission linéique de la liaison,
- $l_l$  (en m) représente la longueur intérieure de la liaison.

Les liaisons à la jonction des parois (entre deux parois extérieures, entre une paroi intérieure et une paroi extérieure) et les liaisons entre les murs et les menuiseries, appelées communément ponts thermiques, constituent des sources supplémentaires de déperditions. En outre, ces liaisons, points faibles thermiques, sont souvent à l'origine de désordres dans la construction (dues à la condensation principalement).

Le total des déperditions par transmission qu'il est possible d'associer à une paroi  $H_{paroi}$  (en  $\text{W/}^\circ\text{C}$ ) est obtenu en effectuant la somme des pertes surfaciques à travers cette paroi avec l'ensemble des pertes linéiques, soit :

$$H_{paroi} = \sum(A_k \cdot U_k) + \sum(\psi_l \cdot l_l) \quad (\text{III.3})$$

Dans cette formule,  $U_k$  et  $A_k$  sont respectivement le coefficient de transmission surfacique (en  $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ) et la surface intérieure (en  $\text{m}^2$ ) de chaque élément de paroi,  $\psi_l$  et  $l_l$  sont respectivement le coefficient de transmission linéique (en  $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ) et la longueur intérieure (en m) de chaque liaison.

On détermine les ponts thermiques à partir de leur longueur  $l_l$  [en m] et de leur coefficient de transmission thermique linéique  $\psi_l$  [en  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ ] :

$$H_{T,ie} = \sum(A_k \cdot U_k) + \sum(\psi_l \cdot l_l) \quad (\text{III.4})$$

### Calcul simplifié :

#### **Formulation :**

Les déperditions par ponts thermiques pour tout le logement peuvent être évaluées à 20% des pertes surfaciques par transmission à travers les parois du logement, soit :

$$\sum(\psi_l \cdot l_l) = 0,2 \cdot \sum(A_k \cdot U_k) \quad (\text{III.5})$$

Dans le cas d'un calcul pièce par pièce, les pertes calorifiques par transmission affectées à chaque volume doivent être majorées de 20 %.

**Remarque :** Ce calcul simplifié est la méthode utilisée dans notre cas, c'est-à-dire le calcul final.

$$H_{T,ie} = \sum(A_k \cdot U_k) \cdot 1,2 \quad (\text{III.6})$$

### III.1.1.b Déperditions à travers un local non chauffé :

Pour calculer les déperditions thermiques par les pièces non chauffées vers l'air extérieur  $H_{T,ue}$  [en W/°C] on introduit un facteur supplémentaire  $b_u$  [sans dimension]. On peut le calculer à partir du rapport entre l'écart des températures par rapport à la pièce adjacente et l'écart de température avec l'extérieur. Exemple : pour une pièce où  $T_i = 20^\circ\text{C}$  et une pièce adjacente non chauffée où  $T_u = 5^\circ\text{C}$ , on déduit la valeur de  $b_u$  pour une température extérieure  $T_e = -10^\circ\text{C}$  ainsi :  $b_u = \frac{20-5}{[20-(-10)]} = 0.5$

Avec :  $b_u$  est le taux de réduction de température.

$$H_{T,ue} = b_u \cdot \sum(A_k \cdot U_k) \cdot 1,2 \quad (\text{III.7})$$

- Calcul de  $b_u$  dans le cas général :

- ❖ **Principes :**

- Le coefficient  $b_u$  est obtenu en considérant le bilan énergétique du local non chauffé. Pour cela, on écrit l'équation d'équilibre des flux entre les apports de chaleur provenant directement, ou indirectement, des locaux chauffés, et les déperditions directes du local non chauffé vers l'extérieur.
  - Dans le cas où plusieurs locaux non chauffés (autres que les combles et les vides sanitaires) sont adjacents, on considère que la température est différente d'un local à un autre. Mais s'ils s'ouvrent les uns sur les autres ou sur une circulation commune (cas des caves), on admet alors qu'ils sont tous à la même température et on les assimile à un local unique.

## ❖ Formule de calcul

Le taux réel est donné par la formule suivante :

$$b_u = \frac{T_i - T_n}{T_i - T_e} = \frac{H_{T,e}}{H_{T,e} + a_c} \quad (\text{III.8})$$

Où :

- $T_i$  (en °C) est la température intérieure,
- $T_n$  (en °C) est la température de l'espace non chauffé,
- $T_e$  (en °C) est la température extérieure,
- $a_c$  (en W/°C) représente les apports de chaleur des divers locaux chauffés vers le local non chauffé,
- $H_{T,e}$  (en W/°C) représente les déperditions du local non chauffé vers l'extérieur.
- $a_c$  Est à associer à la différence de température ( $T_i - T_n$ ). De la même manière,  $H_{T,e}$  est à associer à la différence de température ( $T_n - T_e$ ).
- $T_n$  Se trouve toujours à une température intermédiaire entre  $T_i$  et  $T_e$ .

## ❖ Exemple de calcul :

Vide sanitaire (salle de bain) 1<sup>er</sup> étage :

Géométrie du local :  $S = 3,74\text{m}^2$  ;  $H=2,7\text{m}$  ;  $V = 10,098 \text{ m}^3$

$$b_u = \frac{T_i - T_n}{T_i - T_e} = \frac{H_{T,e}}{H_{T,e} + a_c} \leftrightarrow T_n = T_i - [(T_i - T_e) \cdot b_u] \quad (\text{III.9})$$

Les déperditions ( $H_{T,e}$ ) sont calculées en considérant que les parois séparatrices entre les locaux non chauffés et l'extérieur.

$$H_{T,e} = \sum (A_k \cdot U_k) \cdot 1,2 + H_r \quad (\text{III.10})$$

$H_r$  : représente les déperditions par renouvellement d'air du local non chauffé.

Pour notre cas on admit :

$$H_r = 0,34 \times N \times V \quad (\text{III.11})$$

Avec :  $N = 0,5 \text{ h}^{-1}$

$V = \text{volume habitable (m}^3\text{)}$

**Tableau III.2** : le taux horaire de renouvellement d'air du volume V du local non chauffé [7]

| Dépendances                                                                  | N (en h <sup>-1</sup> ) |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>Maison individuelle, toutes dépendances (caves, garage, cellier, ...)</b> | 0,5                     |
| <b>Immeuble collectif d'habitation</b>                                       |                         |
| <b>-Circulation commune :</b>                                                |                         |
| ➤ Sans ouverture directe sur l'extérieur                                     | 0,5                     |
| ➤ Avec ouverture directe sur l'extérieur                                     | 2                       |
| ➤ Avec bouche ou gaine de désenfumage ouverte en permanence                  | 4                       |
| <b>-Hall d'entrée</b>                                                        | 4                       |
| <b>-Garage collectif</b>                                                     | 1                       |
| <b>-Autres dépendances</b>                                                   | 0,5                     |

**Application :**

$$\text{Mur est : } A_k = 1,58 \cdot 2,7 = 4,266 \text{ m}^2 \quad ; \quad U_k = 0,42 \text{ w/ ( m}^2 \cdot K)$$

$$\text{Plancher bas : } A_k = 3,74 \text{ m}^2 \quad ; \quad U_k = 1,76 \text{ w/ ( m}^2 \cdot K)$$

$$\sum (A_k \cdot U_k) \cdot 1,2 = [(4,266 \cdot 0,42) + (3,74 \cdot 1,76)] \cdot 1,2 = 10,048944 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$d_r = 0,34 \times N \times V = 0,34 \cdot 0,5 \cdot 10,098 = 1,71666 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$H_{T,e} = 10,048944 + 1,71666 = 11,765604 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Les apports sont ( $a_c$ ) sont calculés aussi en considérant que les parois séparatrice entre les locaux chauffé et ceux non chauffés.

$$a_c = \sum (A_k \cdot U_k) \cdot 1,2$$

$$\text{Mur sud : } A_k = 1,59 \cdot 2,7 = 4,293 \text{ m}^2 \quad ; \quad U_k = 2,3 \text{ w/ ( m}^2 \cdot K)$$

$$\text{Mur ouest : } A_k = (0,78 \cdot 2,7) + (0,55 \cdot 0,85) + (0,83 \cdot 2,7) = 4,8145 \text{ m}^2$$

$$U_k = 2,3 \text{ w/ ( m}^2 \cdot K)$$

$$\text{Porte : } A_k = 2,15 \cdot 0,85 = 1,8275 \text{ m}^2 \quad ; \quad U_k = 2 \text{ w/ ( m}^2 \cdot K)$$

$$a_c = \sum (A_k \cdot U_k) \cdot 1,2 = [(4,293 \cdot 2,3) + (4,8145 \cdot 2,3) + (1,8275 \cdot 2)] \cdot 1,2 = 29,5227 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$b_u = \frac{T_i - T_n}{T_i - T_e} = \frac{H_{T,e}}{H_{T,e} + a_c} = \frac{11,765604}{11,765604 + 29,5227} = 0,2849$$

$$T_n = T_i - [(T_i - T_e) \cdot b_u] = 21 - [(21 - 6) \cdot 0,2849] = 16,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Finalemment on prendra :  $T_n = 16,7 \text{ }^\circ\text{C}$

Dans plusieurs cas des locaux non chauffé on a déduit la valeur de  $\mathbf{b}_u$  dans les tableaux qui se trouvent sur l'annexe retirer du DTR

|                                               | Pièces                                                                   | Température C° |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------|
| RDC                                           | Service en chambre /caféterie, lavage<br>vaisselle, roue de distribution | 10,5           |
|                                               | Magasin de stockage                                                      | 11             |
|                                               | Garage et dépôt                                                          | 6              |
| 1 <sup>er</sup> Etage                         | Salle de bain en contact avec l'extérieur                                | 16,7           |
|                                               | Circulation commune et sale de bain<br>intérieure                        | 17,3           |
|                                               | escalier de secours                                                      | 15,8           |
| 2 <sup>eme</sup> et 3 <sup>eme</sup><br>Etage | Salle de bain en contact avec l'extérieur                                | 19,3           |
|                                               | Circulation commune et sale de bain<br>intérieure                        | 17,3           |
|                                               | escalier de secours                                                      | 15,8           |
| 4 <sup>eme</sup> Etage                        | Salle de bain en contact avec l'extérieur                                | 7              |
|                                               | Circulation commune et sale de bain<br>intérieure                        | 5              |
|                                               | Cage d'escalier                                                          | 14             |

**Tableau III.3** : les températures des locaux non chauffée [7]

### III.1.1-c Déperditions thermiques vers le sol :

La détermination de la déperdition thermique vers le sol  $H_{T,ig}$  [en W/K] se fonde sur les aires des parois  $A_k$  [en  $m^2$ ], sur les coefficients de transmission thermique équivalents  $U_{\acute{e}q,k}$  [en  $W/(m^2 \cdot k)$ ] ainsi que sur trois facteurs correctifs,  $G_w$ ,  $f_{g1}$  et  $f_{g2}$  [tous trois sans dimension] :

$$H_{T,ig} = (\sum A_k \cdot U_{\acute{e}q,k}) \cdot G_w \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \quad (III.11)$$

$f_{g1}$  Est le facteur correctif pour tenir compte de la variation de la température extérieure.

$f_{g2}$  Est le coefficient de réduction pour l'écart de température effectif du sol qui est calculé a

l'aide de la température extérieure moyenne du site et ce situe environ entre 0,30 et 0,45.  $G_w$  Est le facteur correctif pour tenir compte de l'influence de l'eau de la nappe phréatique, c'est une grandeur fixe: pour les profondeurs de nappe phréatique de 1m et plus, ce coefficient est de 1,0. Pour les profondeurs de moins de 1m, il est de 1,15.  $U_{\acute{e}q,k}$  Est le coefficient de transmission thermique équivalent qui est déterminé à l'aide de schémas ou de tableaux. Il dépend en autres du coefficient  $U$  non corrigé ainsi que de la surface et du périmètre des parois concernées qui sont en contact avec le sol.

### III.1.1-d déperditions thermiques vers les pièces chauffées adjacentes :

On calcule les déperditions thermiques vers d'autres pièces chauffées  $H_{T,ij}$  [en W/K] également à l'aide des aires des parois  $A_k$  [en  $m^2$ ] et de leurs coefficients de transmission thermique  $U_k$  [en  $W/(m^2 \cdot K)$ ].

On effectue une correction de la température des pièces adjacente, différentes de la température extérieure, en utilisant le coefficient  $f_{ij}$  [sans dimension], par analogie avec le procédé décrit plus haut pour  $b_u$  (écart de température par rapport à la pièce voisine en fonction de l'écart de température vers l'extérieur). Il ne faut tenir compte d'aucun pont thermique.

$$H_{T,ij} = \sum A_k \cdot U_k \cdot f_{ij} \quad (\text{III.12})$$

Les températures des pièces adjacentes chauffées et non chauffées sont supposées plus basses. Par exemple, pour les pièces chauffées et non chauffées dans les bâtiments contigus, la température extérieure moyenne joue un rôle décisif. On obtient ainsi les valeurs élevées de charges thermiques.

### III.1.2 Déperditions thermiques de base par renouvellement d'air :

On détermine les déperditions thermiques de base par renouvellement d'air  $\phi_v$  [en W] d'une pièce à partir de l'écart de température entre l'intérieur ( $T_{int}$ ) et l'extérieur ( $T_e$ ) et des coefficients de déperdition thermique par renouvellement d'air de la pièce  $H_v$  [en  $W/^\circ C$ ] :

$$\phi_{v, i} = (T_{int,i} - T_e) \cdot H_{v, i} \quad (\text{III.13})$$

On détermine les déperditions thermiques par renouvellement d'air à l'aide des débits volumiques d'air entrant  $\dot{V}_i$  [en  $m^3/h$ ]. Le coefficient de déperdition thermique par renouvellement d'air est le produit du débit volumique caractéristique  $\dot{V}_i$  et des propriétés caractéristiques de l'air [ $\rho c_p = 0.34 Wh/(m^3 \cdot ^\circ C)$ ].

$$H_v = \dot{V}_i + \rho \cdot c_p = 0.34 \dot{V}_i \quad (\text{III.14})$$

Le débit volumique caractéristique est calculé d'une manière différente pour les bâtiments avec et sans ventilation mécanique. On détermine les éléments suivant : le débit volumique d'air minimal, le débit volumique d'air d'infiltration et, pour les bâtiments avec ventilation mécanique, également le débit volumique d'air soufflé, ainsi que, le cas échéant, un débit volumique d'air résultant d'un excédent d'air repris.

On établit pour chaque pièce  $i$ , à l'aide de taux de renouvellement d'air minimal  $n_{min}$  [en  $h^{-1}$ ] d'une part et du volume d'air  $V_i$  [en  $m^3$ ] d'une part, un débit volumique d'air minimal  $\dot{V}_{min,i}$  [en  $m^3/h$ ], en dessous duquel on ne doit pas descendre lors du dimensionnement. Le volume d'air peut être calculé de manière simplifiée à partir du volume hors tout  $V_e$  d'un bâtiment ( $V_{int} = 0,8 \cdot V_e$ ). Le renouvellement d'air minimal  $n_{min}$  figure dans un tableau, la valeur standard étant de  $0,5 h^{-1}$ .

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad (\text{III.15})$$

- $\dot{V}_{min,i}$ : débit d'air minimal requis pour des raisons hygiéniques exprimé en  $m^3/h$ ,
- $n_{min}$  : le taux de renouvellement en air extérieur exprimé en [ $h^{-1}$ ],
- $V_i$  : volume du local exprimé en  $m^3$ ,

Le tableau ci-dessous représente un extrait des valeurs standard proposées :

| Type de pièce                                                                      | Renouvellement d'air minimal $n_{min}$ [en $h^{-1}$ ] |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Pièce habitable (configuration classique), cuisine &gt; 20 <math>m^3</math></b> | 0,5                                                   |
| <b>Bureau, cuisine <math>\leq 20 m^3</math></b>                                    | 1,0                                                   |
| <b>WC ou salle de bain avec fenêtre</b>                                            | 1,5                                                   |
| <b>Salle de réunion, salle de classe</b>                                           | 2,0                                                   |

Tableau III.4 : Renouvellement d'air minimal. [1]

Le débit volumique d'infiltration  $\dot{V}_{inf,j}$  [en  $m^3/h$ ] dépend du volume de la pièce  $V_i$  [en  $m^3$ ], d'un renouvellement d'air de référence  $n_{50}$  [en  $h^{-1}$ ] en tant que mesure de l'étanchéité du bâtiment, ainsi que de deux facteurs correctifs  $e_i$  et  $\varepsilon_i$  [tous les deux sans dimension] :

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \tag{III.16}$$

- $V_i$  : volume du local ou de l'air exprimé en  $m^3$  ;
- $n_{50}$  : taux horaire de renouvellement d'air résultant d'une différence de pression de 50Pa entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, y compris l'effet des entrées de l'air ;
- $e_i$  : coefficient d'exposition du local chauffé ;
- $\varepsilon_i$  : facteur correctif de hauteur.

| construction                  | $n_{50}$<br>En fonction du degré d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment (qualité des joints de fenêtre et porte) |                                                     |                                                  |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                               | Elevé<br>(joints de haute qualité)                                                                                        | Moyen<br>(fenêtre à double vitrage, joints normaux) | Bas<br>(fenêtre à simple vitrage, pas de joints) |
| Maisons individuelles         | < 4                                                                                                                       | 4 à 10                                              | > 10                                             |
| Autres logements ou bâtiments | < 2                                                                                                                       | 2 à 5                                               | > 5                                              |

Tableau III.5 : taux horaire de renouvellement d'air  $n_{50}$  [5]

| Classe d'exposition                                                                                                   | $e$ |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|------|
| <b>Site non abrité</b><br>(bâtiments en zone ventrée, bâtiments de grande hauteur en centre ville)                    | 0   | 0,03 | 0,05 |
| <b>Site modérément abrité</b><br>(bâtiment en compagnie protégés par des arbres ou par d'autres bâtiments, banlieues) | 0   | 0,02 | 0,03 |
| <b>Site très abrité</b><br>(bâtiments de taille moyenne en centre-ville, bâtiments en forêt)                          | 0   | 0,01 | 0,02 |

Tableau III.6 : Coefficient d'exposition  $e$  du local chauffé. [5]

| Hauteur de l'espace chauffé au dessus du sol (du centre du local au niveau du sol) | $\varepsilon_i$ |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 0 à 10 m                                                                           | 1,0             |
| 10 à 30 m                                                                          | 1,2             |
| > 30 m                                                                             | 1,5             |

**Tableau III.7 :** Facteur correctif de hauteur  $\varepsilon_i$  [5]

Au final on obtient cette loi qui sera l'équation finale pour déterminé les déperditions par ventilation :

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i}) \quad (III.17)$$

Dans notre cas  $\dot{V}_{min,i} > \dot{V}_{inf,i}$  ce qui fait qu'on a calculé les déperditions thermiques par renouvellement d'air en établissant la loi suivante  $\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i$

### III.1.3 Application au projet d'étude :

La présente étude consiste à déterminer la charge thermique (déperditions par transmission et déperditions par renouvellement de l'air) ; pour le RDC on se limitera uniquement au restaurant c.-à-d on calculera la charge thermique du restaurant, en outre on calculera la charge thermique de tous les étages (locaux résidentiels) ; les résultats sont donnés dans les tableaux suivants :

## Exemple de calcul (restaurant du RDC)

| Déperditions calorifiques par transmission |   | Déperditions surfaciques        |        | Déperditions linéiques                |                         |             |                               |                                             |                                          |                                                 |                                                      |
|--------------------------------------------|---|---------------------------------|--------|---------------------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                            |   | Dimensions réelles ou corrigées |        |                                       |                         |             |                               |                                             |                                          |                                                 |                                                      |
| Désignation des parois                     |   | Orientation des parois          |        | Epaisseur des murs et dalles : e (cm) | Longueur ou largeur (m) | Hauteur (m) | Surface nette $A_k$ ( $m^2$ ) | Coefficient $U_k$ [en W/ ( $m^2 \cdot K$ )] | $\Delta T = (T_i - T_e)$ ( $^{\circ}C$ ) | $\Phi_{T,i} = A_k \cdot U_k \cdot \Delta T$ (W) | $D_L = 0,2 \cdot (A_k \cdot U_k) \cdot \Delta T$ (W) |
| Mird                                       | S | /                               | 30,61  | 3,5                                   | 107,135                 | 5           | 16                            | 8570,8                                      | 1714,16                                  |                                                 |                                                      |
| Mex                                        | S | 30                              | 30,61  | 0,67                                  | 20,5087                 | 1,41        | 16                            | 462,68                                      | 92,53                                    |                                                 |                                                      |
| Mex                                        | O | 30                              | 4,27   | 4,17                                  | 17,8059                 | 1,41        | 16                            | 401,57                                      | 80,314                                   |                                                 |                                                      |
| Mird                                       | O | /                               | 0,95   | 3,5                                   | 3,325                   | 5           | 16                            | 266                                         | 53,2                                     |                                                 |                                                      |
| Mex                                        | O | 30                              | 0,95   | 0,67                                  | 0,6365                  | 1,41        | 16                            | 14,35                                       | 2,87                                     |                                                 |                                                      |
| Mird                                       | E | /                               | 0,95   | 3,5                                   | 3,325                   | 5           | 16                            | 266                                         | 53,2                                     |                                                 |                                                      |
| Mint                                       | E | 30                              | 0,95   | 0,67                                  | 0,6365                  | 1,41        | 16                            | 14,35                                       | 2,87                                     |                                                 |                                                      |
| Mint                                       | N | 20                              | 16,945 | 4,17                                  | 70,66065                | 1,59        | 11,5                          | 1292,03                                     | 258,4                                    |                                                 |                                                      |
| Poteaux                                    | N | 60                              | 3,3    | 4,17                                  | 13,761                  | 1,45        | 11,5                          | 229,45                                      | 45,89                                    |                                                 |                                                      |
| Porte                                      | N | /                               | 2      | 2                                     | 4                       | 4,5         | 11,5                          | 207                                         | 41,4                                     |                                                 |                                                      |
| Mint                                       | N | 20                              | 2      | 1,5                                   | 3                       | 1,59        | 11,5                          | 54,855                                      | 10,971                                   |                                                 |                                                      |
| Plancher                                   | / | 25                              | /      | /                                     | 310,11                  | 1,76        | 10,65                         | 5812,7                                      | 1162,54                                  |                                                 |                                                      |
| Plafond                                    | / | 30                              | /      | /                                     | 26,6307                 | 1,18        | 16                            | 497,69                                      | 99,54                                    |                                                 |                                                      |
| Plafond                                    | / | 25                              | /      | /                                     | 283,4793                | 1,76        | 9                             | 4490,312                                    | 898,06                                   |                                                 |                                                      |
| Totale                                     |   |                                 |        |                                       |                         |             |                               | <b>22579,73 W</b>                           | <b>4515,94 W</b>                         |                                                 |                                                      |

| DEPERDITIONS PAR RENOUVELLEMENT<br>D'AIR                   |                                                     |              |                       |               |                                                                                                 |      |               |                       |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------|-----------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------|-----------------------|
| $D_R = 0,34q_v$                                            |                                                     |              |                       |               |                                                                                                 |      |               |                       |
| VENTILATION NATURELLE<br>$q_{vmin} = V_L \cdot \eta_{min}$ |                                                     |              |                       |               | DEPERDITION PAR INFILTRATION<br>$q_{vinf} = 2 \cdot V_L \cdot n_{50} \cdot e \cdot \varepsilon$ |      |               |                       |
| local                                                      | $V_L$<br>$m^3$                                      | $\eta_{min}$ | $q_{vmin}$<br>$m^3/h$ | $2 \cdot V_L$ | $n_{50}$                                                                                        | $e$  | $\varepsilon$ | $q_{vinf}$<br>$m^3/h$ |
| restaurant                                                 | $V_L = 310,11 \cdot 4,17$<br>$= 1293,1587$<br>$m^3$ | 0,5          | 646,58                | 2586,31       | 9                                                                                               | 0,02 | 1             | 465,53                |



Tableau III.9 : charge thermique des quatre étages :

| N°<br>Local                               | Déperditions par transmission                      |                                                         | Déperditions par renouvellement d'air                 | Déperditions totale                              |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                           | $\Phi_{T,i} = A_k \cdot U_k \cdot \Delta T$<br>(W) | $D_L = 0,2 \cdot (A_k \cdot U_k) \cdot \Delta T$<br>(W) | $\Phi_{v,i} = (T_{int,i} - T_e) \cdot H_{v,i}$<br>(W) | $D_{Tot} = \Phi_{T,i} + D_L + \Phi_{v,i}$<br>(W) |
| Chambres<br>Aile est                      |                                                    |                                                         |                                                       |                                                  |
| Service<br>chambre                        | 724,25                                             | 144,85                                                  | 75,66615                                              | 944,76                                           |
| Ch 01-02-<br>03-04-05-<br>06-07-08-<br>09 | 7246,53                                            | 1449,306                                                | 953,01                                                | 9648,846                                         |
| Service<br>chambre                        | 671,56                                             | 134,312                                                 | 79,7283                                               | 885,60                                           |
| Service<br>chambre                        | 601,56                                             | 120,312                                                 | 21,3435                                               | 743,2155                                         |
| Service<br>chambre                        | 677,54                                             | 135,51                                                  | 57,01                                                 | 870,06                                           |
| Chambre<br>handicapé                      | 794,53                                             | 158,906                                                 | 105,89                                                | 1059,326                                         |
| Ch 10-11-<br>12-13-14-<br>15-16           | 5636,19                                            | 1127,238                                                | 741,23                                                | 7504,658                                         |
| Service<br>chambre                        | 724,25                                             | 144,85                                                  | 75,66615                                              | 944,76                                           |
|                                           |                                                    |                                                         | <b>Totale</b>                                         | <b>22538,2255</b>                                |

| N°<br>Local                                                                                 | Déperditions par transmission                      |                                                         | Déperditions par renouvellement d'air                 | Déperditions totale                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                                                                             | $\Phi_{T,i} = A_k \cdot U_k \cdot \Delta T$<br>(W) | $D_L = 0,2 \cdot (A_k \cdot U_k) \cdot \Delta T$<br>(W) | $\Phi_{v,i} = (T_{int,i} - T_e) \cdot H_{v,i}$<br>(W) | $D_{Tot} = \Phi_{T,i} + D_L + \Phi_{v,i}$<br>(W) |
| Chambres<br>Aile ouest                                                                      |                                                    |                                                         |                                                       |                                                  |
| Chambres<br>01-22                                                                           | 1818,82                                            | 363,764                                                 | 211,78                                                | 2394,364                                         |
| Chambres<br>02-03-04-05-<br>06-07-08-09-<br>10-11-12-13-<br>14-15-16-<br>17_18-19-<br>20-21 | 16103,4                                            | 3220,68                                                 | 2117,8                                                | 21441,88                                         |
|                                                                                             |                                                    |                                                         | <b>Totale</b>                                         | <b>23836,244</b>                                 |

## 2eme étage :

| N°<br>Local                   | Déperditions par transmission                      |                                                         | Déperditions par renouvellement d'air                 | Déperditions totale                              |
|-------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                               | $\Phi_{T,i} = A_k \cdot U_k \cdot \Delta T$<br>(W) | $D_L = 0,2 \cdot (A_k \cdot U_k) \cdot \Delta T$<br>(W) | $\Phi_{v,i} = (T_{int,i} - T_e) \cdot H_{v,i}$<br>(W) | $D_{Tot} = \Phi_{T,i} + D_L + \Phi_{v,i}$<br>(W) |
| Chambres<br>Aile est          |                                                    |                                                         |                                                       |                                                  |
| Service chambre               | 569,62                                             | 113,924                                                 | 75,66615                                              | 759,21                                           |
| Ch 01-02-03-04-05-06-07-08-09 | 4535,46                                            | 907,092                                                 | 953,01                                                | 6395,562                                         |
| Service chambre               | 508,51                                             | 101,702                                                 | 79,7283                                               | 689,9403                                         |
| Service chambre               | 557,91                                             | 111,582                                                 | 21,3435                                               | 690,355                                          |
| Service chambre               | 560,96                                             | 112,192                                                 | 57,01                                                 | 730,1598                                         |
| Chambre handicapé             | 579,9796                                           | 115,59592                                               | 105,89                                                | 801,46                                           |
| Ch 10-11-12-13-14-15-16       | 3527,58                                            | 705,516                                                 | 741,23                                                | 4974,326                                         |
| Service chambre               | 569,62                                             | 113,924                                                 | 75,66615                                              | 759,21015                                        |
|                               |                                                    |                                                         | <b>Totale</b>                                         | <b>15800,22325</b>                               |

| N°<br>Local                                                          | Déperditions par transmission                      |                                                         | Déperditions par renouvellement d'air                 | Déperditions totale                              |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                                                      | $\Phi_{T,i} = A_k \cdot U_k \cdot \Delta T$<br>(W) | $D_L = 0,2 \cdot (A_k \cdot U_k) \cdot \Delta T$<br>(W) | $\Phi_{v,i} = (T_{int,i} - T_e) \cdot H_{v,i}$<br>(W) | $D_{Tot} = \Phi_{T,i} + D_L + \Phi_{v,i}$<br>(W) |
| Chambres<br>Aile ouest                                               |                                                    |                                                         |                                                       |                                                  |
| Chambres 01-22                                                       | 1174,28                                            | 234,856                                                 | 211,78                                                | 1620,916                                         |
| Chambres 02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21 | 10078,8                                            | 2015,76                                                 | 2117,8                                                | 14212,36                                         |
|                                                                      |                                                    |                                                         | <b>Totale</b>                                         | <b>15833,276</b>                                 |

3eme étage :

| N°<br>Local                   | Déperditions par transmission                      |                                                         | Déperditions par renouvellement d'air                 | Déperditions totale                              |
|-------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                               | $\Phi_{T,i} = A_k \cdot U_k \cdot \Delta T$<br>(W) | $D_L = 0,2 \cdot (A_k \cdot U_k) \cdot \Delta T$<br>(W) | $\Phi_{v,i} = (T_{int,i} - T_e) \cdot H_{v,i}$<br>(W) | $D_{Tot} = \Phi_{T,i} + D_L + \Phi_{v,i}$<br>(W) |
| Chambres<br>Aile est          |                                                    |                                                         |                                                       |                                                  |
| Service chambre               | 569,62                                             | 113,924                                                 | 75,66615                                              | 759,21                                           |
| Ch 01-02-03-04-05-06-07-08-09 | 4535,46                                            | 907,092                                                 | 953,01                                                | 6395,562                                         |
| Service chambre               | 508,51                                             | 101,702                                                 | 79,7283                                               | 689,9403                                         |
| Service chambre               | 557,91                                             | 111,582                                                 | 21,3435                                               | 690,355                                          |
| Service chambre               | 560,96                                             | 112,192                                                 | 57,01                                                 | 730,1598                                         |
| Chambre handicapé             | 579,9796                                           | 115,59592                                               | 105,89                                                | 801,46                                           |
| Ch 10-11-12-13-14-15-16       | 3527,58                                            | 705,516                                                 | 741,23                                                | 4974,326                                         |
| Service chambre               | 569,62                                             | 113,924                                                 | 75,66615                                              | 759,21015                                        |
|                               |                                                    |                                                         | <b>Totale</b>                                         | <b>15800,22325</b>                               |

| N°<br>Local                                                             | Déperditions par transmission                      |                                                         | Déperditions par renouvellement d'air                 | Déperditions totale                              |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                                                         | $\Phi_{T,i} = A_k \cdot U_k \cdot \Delta T$<br>(W) | $D_L = 0,2 \cdot (A_k \cdot U_k) \cdot \Delta T$<br>(W) | $\Phi_{v,i} = (T_{int,i} - T_e) \cdot H_{v,i}$<br>(W) | $D_{Tot} = \Phi_{T,i} + D_L + \Phi_{v,i}$<br>(W) |
| Chambres<br>Aile ouest                                                  |                                                    |                                                         |                                                       |                                                  |
| Chambres<br>01-22                                                       | 1174,28                                            | 234,856                                                 | 211,78                                                | 1620,916                                         |
| Chambres<br>02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21 | 10078,8                                            | 2015,76                                                 | 2117,8                                                | 14212,36                                         |
|                                                                         |                                                    |                                                         | <b>Totale</b>                                         | <b>15833,276</b>                                 |

4<sup>ème</sup> étage :

| N°<br>Local                               | Déperditions par transmission                      |                                                         | Déperditions par renouvellement d'air                 | Déperditions totale                              |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                           | $\Phi_{T,i} = A_k \cdot U_k \cdot \Delta T$<br>(W) | $D_L = 0,2 \cdot (A_k \cdot U_k) \cdot \Delta T$<br>(W) | $\Phi_{v,i} = (T_{int,i} - T_e) \cdot H_{v,i}$<br>(W) | $D_{Tot} = \Phi_{T,i} + D_L + \Phi_{v,i}$<br>(W) |
| Chambres<br>Aile est                      |                                                    |                                                         |                                                       |                                                  |
| Service<br>chambre                        | 657,7917                                           | 131,55834                                               | 75,66615                                              | 865,01619                                        |
| Ch 01-02-<br>03-04-05-<br>06-07-08-<br>09 | 5865,21                                            | 1173,042                                                | 953,01                                                | 7991,262                                         |
| Service<br>chambre                        | 588,42                                             | 117,684                                                 | 79,7283                                               | 785,8323                                         |
| Service<br>chambre                        | 579,3                                              | 115,86                                                  | 21,3435                                               | 716,5035                                         |
| Service<br>chambre                        | 625,14                                             | 125,028                                                 | 57,01                                                 | 807,178                                          |
| Chambre<br>handicapé                      | 656,8872                                           | 131,377                                                 | 105,89                                                | 894,154691                                       |
| Ch 10-11-<br>12-13-14-<br>15-16           | 4561,83                                            | 912,366                                                 | 741,21                                                | 6215,406                                         |
| Service<br>chambre                        | 657,7917                                           | 131,55834                                               | 75,66615                                              | 865,01619                                        |
|                                           |                                                    |                                                         | <b>Totale</b>                                         | <b>19140,36887</b>                               |

| N°<br>Local                                    | Déperditions par transmission                      |                                                         | Déperditions par renouvellement d'air                 | Déperditions totale                              |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                                | $\Phi_{T,i} = A_k \cdot U_k \cdot \Delta T$<br>(W) | $D_L = 0,2 \cdot (A_k \cdot U_k) \cdot \Delta T$<br>(W) | $\Phi_{v,i} = (T_{int,i} - T_e) \cdot H_{v,i}$<br>(W) | $D_{Tot} = \Phi_{T,i} + D_L + \Phi_{v,i}$<br>(W) |
| Chambres<br>Aile est                           |                                                    |                                                         |                                                       |                                                  |
| Chambres<br>01                                 | 754,76                                             | 150,952                                                 | 105,89                                                | 1011,602                                         |
| Chambre<br>02                                  | 651,69                                             | 130,338                                                 | 105,89                                                | 887,918                                          |
| Chambres<br>suites<br>03-04-05-06-<br>07-08-09 | 11686,59                                           | 2337,318                                                | 1943,82                                               | 15967,728                                        |
| Suite 10                                       | 1417,57                                            | 283,514                                                 | 215,98245                                             | 1917,06645                                       |
|                                                |                                                    |                                                         | <b>Totale</b>                                         | <b>19784,31445</b>                               |

**Conclusion :**

Ce chapitre est une application des règles de calcul du bilan thermique au projet d'étude, ce bilan nous a permis de déterminer les déperditions thermique de chaque local chauffé, cependant les températures des locaux non chauffé doivent être connus pour pouvoir mieux estimer ces déperdition.

Les résultats du calcul sont essentiels pour le choix et le dimensionnement des corps de chauffe qu'on a fait, le choix des radiateurs en fonte s'explique pour les nombreux avantages qu'ils présentent, quant à leur dimensionnement, il est basé sur le régime de températures adopté au fluide caloporteur.

### **IV.1 Introduction :**

Bien que la problématique du chauffage soit très ancienne, le métier d'installateur en chauffage central existe depuis moins longtemps que des métiers apparents tels que celui du forgeron ou du plombier.

Le début de nos systèmes actuels de chauffage date d'environ 150 ans.

Le développement des chaufferies a pourtant commence des centaines années avant notre ère, à l'époque où l'Europe Centrale et l'Europe du Nord étaient encore couvertes de neige et de glace. On ne construisait pas encore de maisons en pierre et la chaufferie se trouvait au milieu de l'habitation. Le foyer était un simple trou dans le sol et servait à la fois pour chauffer l'habitation et cuire les aliments. La fumée s'évacuait par les ouvertures des portes et des fenêtres et par des ouvertures du toit.

C'est entre 1870 et 1890 qu'on a importé d'Amérique les premières chaudières et les premiers radiateurs en fonte, la première chaudière à éléments étant commercialisée en 1895.

Depuis lors, les chaudières de chauffage central ont été considérablement améliorées. A l'heure actuelle, la plupart des habitations sont équipées d'une installation de chauffage central.

### **IV.2 Installation de chauffage central :**

Une installation de chauffage central se caractérise par le fait qu'il n'y a pour les locaux à chauffer qu'un seul foyer, situé à l'extérieur de ceux-ci, mais aussi la chaleur émise est acheminée vers chaque pièce par l'intermédiaire d'un caloporteur, on utilise en guise de caloporteur de l'eau, de la vapeur ou de l'air, de sorte que l'on distingue des installations de chauffage central à eau chaude, à vapeur et à air.

Le chauffage central présente les avantages suivants :

- Réduction du nombre de foyers et de cheminées ;
- Pollution moins importante ;
- Absence de transport de combustible et de cendres à l'intérieur des locaux ;
- Rentabilité supérieure de l'utilisation de combustible ;
- Encombrement moindre des corps de chauffe ;
- Plus grande facilité de réglage.

On relève toutefois les inconvénients suivants :

- Nécessité de mesurer la répartition des dépenses de chauffage pour plusieurs logements ;
- Eventuellement, frais d'achat et d'exploitation supérieurs, avec cependant davantage de confort de chauffage ;
- Pertes d'énergies lors de la distribution thermique.

#### ***IV.2.1 installation de chauffage à eau chaude :***

Les installations de chauffage à eau chaude fonctionnent avec, comme caloporteur, soit de l'eau surchauffée atteignant une température maximale de 120 °C, soit de l'eau chaude à 100 °C maximum.

Les températures de 100°C ou 120°C se rapportent au réglage du limiteur de température. Les chaudières à eau surchauffée entre 100 °C et 120 °C relèvent du droit industriel –ici, c'est les le décret sur les chaudières à vapeur qui s'applique. L'eau réchauffée dans les chaudières est acheminée par les canalisations vers les corps de chauffe, se refroidit en dégageant de la chaleur puis retourne à la chaudière, où le cycle reprend au début. On distingue :

- d'après la force motrice qui fait circuler l'eau ;

Les installations de chauffage à eau chaude en thermosiphon et les installations de chauffage à eau chaude par pompe ;

- d'après le transport d'eau dans le système de canalisation ;

Les systèmes monotubes et bitubes ;

- d'après le type d'énergie ;

Les installations de chauffage à eau chaude à combustibles solides, à fioul, à gaz, à l'électricité ;

- d'après l'emplacement des distributions principales ;

La distribution supérieure ou inférieure ;

- d'après le système de communication avec l'atmosphère ;

Les installations de chauffage à eau chaude ouvertes et les installations de chauffage à eau chaude fermées.

Le chauffage à eau chaude, parmi tous les systèmes de chauffage est le plus utilisé, presque exclusivement sous forme de chauffage à eau chaude par pompe et de type fermé comme le cas de notre installation.

On peut citer les avantages suivants :

- simplicité d'utilisation (très largement automatisée) ;
- sécurité de fonctionnement importante ;
- réchauffement doux et agréable du fait de la faible température de surface des corps de chauffe ;
- régulation centrale performante, par exemple à l'aide de robinets thermostatiques ;
- faibles risques de corrosion et ainsi durée de vie plus importante.

Les inconvénients sont toutefois les suivants :

- grande inertie et donc mise en température lente ;
- risque de gel, le cas échéant lors de l'installation où l'arrêt.

#### ***IV.2.1 Installation de chauffage à eau chaude par pompe :***

##### **➤ Généralités :**

La circulation d'eau est assurée par une pompe, qui produit une force motrice pour vaincre les résistances dans le circuit d'eau chaude.

Les avantages sont les suivants :

- mise en température rapide ; faible inertie ;
- amélioration de la régulation centrale et locale ; facilité de mélange de l'eau d'aller et de celle de retour ;
- réseau des canalisations plus économique du fait de leurs diamètres plus petits ;
- moindres déperditions thermiques du fait des canalisations plus petites ;
- plus de possibilités de disposition des canalisations.

Au titre des inconvénients, on peut citer :

- Davantage d'entretien ;
- Dépendance par rapport à l'alimentation en électricité ;
- Besoin permanent d'électricité pendant le fonctionnement.

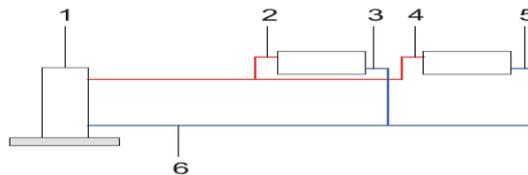
Auparavant, on prenait généralement 90 °C comme température d'allée maximale. Cependant, pour économiser l'énergie, on s'appuie aujourd'hui pour le calcul sur une température maximale comprise entre 65 et 75 °C (chauffage à basse température).

La dilatation de l'eau est absorbée soit par un vase d'expansion ouvert, qui communique avec l'atmosphère, soit par un vase d'expansion fermé (à membrane par exemple).

### ➤ Disposition des canalisations

#### ○ Système bitube

Il s'agit d'un système le plus courant pour la distribution de chaleur sur les appareils de chauffage raccordés. Chaque corps de chauffe est raccordé individuellement aux canalisations aller et retour de la température de l'eau est sensiblement la même à l'entrée de chacun d'eux. On régule la puissance calorifique en réduisant le débit d'eau à l'aide d'une vanne de régulation. On distingue la distribution inférieure et la distribution supérieure de l'eau chaude.

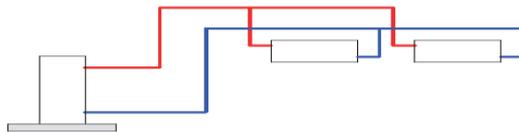


**Figure IV.1** : système bitube

Avec :

- 1 : température de départ (chaudière) = 75 °C
- 2 : température d'entrée = ± 75 °C
- 3 : température de sortie = ± 65 °C
- 4 : température d'entrée = ± 75 °C
- 5 : température de sortie = ± 65 °C
- 6 : température de retour (chaudière) = 65 °C

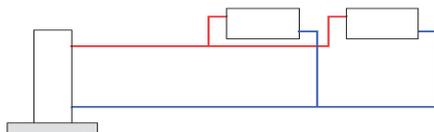
Dans le cas d'une distribution inférieure, la plus fréquente (fig. IV.2), les canalisations allées et retour sont placées sur le plafond du sous-sol. Les corps de chauffe sont alimentés en eau chaude à partir de cet endroit par le biais de conduites montantes d'aller, cette eau retournant à la chaudière par les conduites montantes de retour. Aux points les plus élevés, on prévoit un système de purge d'air centrale ou locale. La purge d'air centrale pose toutefois problème ; c'est pourquoi on utilise généralement des systèmes de purge d'air locale ou bien des systèmes de purge centralisée.



**Figure IV.2 :** Distribution supérieure, “en parapluie”

Dans le cas d’une installation supérieure (figure IV.3), l’eau chaude est envoyée par la pompe dans une conduite montante vers les combles, à partir desquels elle alimente le biais de conduites de distribution les différents types de tuyauteries descendantes auxquelles sont raccordés les corps de chauffe.

L’eau chaude retourne à la chaudière par des canalisations descendantes de retour. On effectue une purge d’air centrale au point le plus haut. Ce système est tout particulièrement utilisé lorsque le sous-sol n’offre pas assez d’espace pour installer des tuyauteries.



**Figure IV.3 :** Distribution inférieure, “en chandelle” (classique)

La distribution de type inférieure est plus économique, mais la mise en température est moins rapide qu’avec la distribution supérieure. Le premier système permet de dégourdir la température du sous-sol, et le second celle des combles.

### IV.3 Besoins d’eau chaude sanitaire :

Pour pouvoir estimer les besoins annuels en ECS, il faut connaître la consommation journalière par personne. Ces valeurs sont obtenues de manière empirique et elles varient de 30 à 60 litres. Un volume de 50 litres par jour et par personne peut être utilisé pour obtenir des résultats suffisamment exacts. La température de stockage doit aussi être définie. La valeur généralement utilisée se situe entre 50 et 60°C. Il faut aussi connaître la température moyenne annuelle de l’eau froide. Cette valeur se situe en général aux alentours de 10°C. Comme pour les besoins en chauffage, les pertes fatales sont aussi à prendre en considération. Ces pertes comprennent les déperditions du ballon d’ECS, qui sont fonction de la qualité de son isolation, du  $\Delta T$  entre la température de stockage et celle de l’air ambiant. Ces pertes sont aussi dus aux déperditions des conduites d’ECS, du refroidissement de l’eau à l’intérieur de

celles-ci après un soutirage, eau qui a été chauffée et sera envoyée à l'égout au prochain soutirage. Il est difficile d'estimer avec exactitude le pourcentage de pertes fatales donc, pour cette raison, on va prendre une valeur de 25% ce qui donne un coefficient de 0,75. Ces valeurs une fois obtenues, la formule à utiliser est la suivante :

$$\text{Besoin en ECS} = \frac{(Vp * Nbp * 30,41 * 11 * 1,11627 * \Delta T)}{(1000 * Ptes)} \quad (\text{IV.1})$$

Avec :

**Vp** : Volume en litre par personne et par jour

**Nbp** : Nombre de personnes occupant le logement

**30,41** : Nombre de jour par mois sur une moyenne annuelle (365/12)

**11** : 11 mois car un mois est pris en compte pour les vacances

**1,1627** : Chaleur spécifique de l'eau

**1000** : Pour résultats en KW

**Ptes** : Pertes fatales

### IV.3.1 Température d'utilisation de l'eau chaude :

Eviers, timbres d'office : 60 à 65 °C

Lavabos : 30 à 40 °C

Baignoires : 34 à 37 °C

Douches : 32 à 40 °C

L'eau chaude est produite et stockée entre 60 et 80 °C (souvent à 65 °C).

- Elle ne doit pas être distribuée à plus de 60 °C pour éviter l'entartrage et les brûlures.
- En cuisine professionnelle, buanderie ou laverie, elle peut être stockée et distribuée jusqu'à 90 °C maximum, mais il faut alors le signaler.

Quand l'eau chaude n'est pas utilisée à sa température de distribution, elle est refroidie par mélange avec de l'eau froide (mélangeur, mitigeur "thermostatique")

### IV.3.2 Consommations, estimations statistiques :

#### a) Consommation domestique :

Suivant le nombre de personne au foyer et l'équipement, elle se situe entre 5 et 15 m<sup>3</sup> par personne et par an.

Dans un restaurant, en moyenne, on compte une consommation d'eau à 60 °C de :

- En restauration classique : 12 litre par couvert (7 litre pour la préparation du repas et 5 litre pour le lavage de la vaisselle).
- En restauration collective : 8 litre par couvert.
- En cafétérie, snack : 1 litre par client.

Dans un hôtel, évaluation des besoins en eau chaude (à 60 °C) par chambre et par jour :

|                |             |            |                                    |
|----------------|-------------|------------|------------------------------------|
| Hôtel *        | 8 à 120 l   | Hôtel **   | 100 à 120 l                        |
| Hôtel ***      | 130 à 180 l | Hôtel **** | 180 à 120 l                        |
| Hôtel ****luxe | 200 à 250 l | Buanderie  | 8,5 à 13 L à 90 °C par kg de ligne |

Consommation, détermination par le calcul

Soit : T (en °C) température d'utilisation de l'eau

$T_f$  (en °C) température de l'eau froide d'alimentation

$T_c$  (en °C) température de distribution de l'eau chaude

V (en litres) volume total d'eau nécessaire à la température T

$V_f$  (en l) volume nécessaire d'eau froide à la température  $T_f$

$V_c$  (en l) volume nécessaire d'eau chaude à la température  $T_c$

Si on néglige les pertes de chaleur dans les canalisations, on peut confondre température de distribution (au poste de puisage) et température de production (au générateur), sinon on tiendra compte d'un coefficient de pertes.

On considère que l'eau chaude et l'eau froide ont la même chaleur massique  $C = 4180 \text{ j/kg}^\circ\text{C}$  et la même masse volumique (on néglige la dilatation volumique de l'eau chauffée) : 1 kg/l.

Quantité de chaleur perdue par  $V_c$  litres d'eau chaude, en se mélangeant à  $V_f$  litres d'eau froide :

$$Q_c = V_c \times 1 \times 4180 \times (T - T_c) \quad (\text{IV.2})$$

Quantité de chaleur gagnée par  $V_f$  litres d'eau froide, en se mélangeant à  $V_c$  litres d'eau chaude :

$$Q_f = V_f \times 1 \times 4180 \times (T - T_f) \quad (IV.3)$$

Si on considère que l'eau chaude et l'eau froide n'échangent de la chaleur qu'entre elles (on néglige les pertes) :

$$Q_f = - Q_c \quad \rightarrow \quad V_f * 1 * 4180 * (T - T_f) = -[V_c * 1 * 4180 * (T - T_c)]$$

$$\text{Or } V_f = V - V_c \quad \text{il vient : } (V - V_c) (T - T_c) = V_c (T_c - T)$$

$$\text{D'où } V(T - T_f) = V_c (T_c - T) + V_c (T - T_f) \quad \text{et : } V(T - T_f) = V_c (T_c - T_f)$$

L'utilisation de V litres d'eau à T °C consomme Vc litres d'eau chaude produite à Tc °C :

$$V_c = V(T - T_f) / (T_c - T_f) \quad (IV.4)$$

**Ex :** eau froide à 10 °C, eau chaude à 60 °C, bain à 34 °C dans une baignoire de 150 l :

$$150 * (34 - 10) / (60 - 10) = 72 \text{ l d'eau à } 60 \text{ °C}$$

#### b) Débits :

Débits minimum à respecter : (les canalisations doivent être calibrées en conséquence) :

Lavabos : 3 l/min

Bidets : 6 l/min

Eviers : 12 l/min

Douches : 15 l/min

Baignoires : 20 l/min

Plonge : 20 l/min

La répartition de la consommation d'eau chaude n'est pas uniforme sur la journée. Il faut donc tenir compte des débits de pointes pour dimensionner l'installation et choisir le type d'appareil :

- **Débit horaire de pointe** (en m<sup>3</sup>/h) : consommation maximale d'eau chaude à l'heure.
- **Débit instantané de pointe** (en l/min) : se détermine statiquement en fonction de la nature et du nombre de points de puisage. C'est la quantité d'eau chaude susceptible d'être demandé en même temps.

### IV3.3 Mode de production d'eau chaude :

❖ **Centralisée** : soit liée au chauffage central (le cas des notre), soit indépendante.

→ Rendement : de 25 à 50 % à cause des pertes en chaufferie et dans les canalisations.

→ Calorifugeage soigné des appareils et des conduites nécessaire.

**❖ Fractionnée et décentralisée :**

- Appareils plus proches des points de puisage.
- Circuits de distribution réduit.
- Rendement meilleur (environ 75 %)
- Plus grande souplesse d'utilisation avec la possibilité d'isoler des parties de l'installation.

**❖ Mixte :** un générateur par groupe de postes de même utilisation. Par exemple :

- Un générateur à 60 °C pour la cuisine, les services techniques.
- Un générateur à 40 °C ou 45 °C pour les sanitaires.
- Un générateur à 90 °C pour les secteurs laveries.

**IV.3.4 Types d'appareils de production d'eau chaude :****a) Producteurs d'eau chaude instantanée :**

- Production immédiate d'eau chaude
- Pas de limitation du volume ou du temps de puisage
- Mais débit limité : la température de l'eau chaude diminue quand son débit augmente et inversement
- Bien adaptés à des puisages fréquents mais à de faibles débits de pointes

**b) Production d'eau chaude a accumulation :**

- Stockage de l'eau chauffée
- Limitation du puisage en temps et en quantité, liée à la capacité du ballon : l'eau chaude soutirée est remplacée par de l'eau froide qui tend à abaisser la température dans le ballon qu'il faut alors chauffer
- Pas de limitation de débit
- Bien adaptés à des consommations importantes, régulièrement espacées dans le temps
- Nécessité d'un calorifugeage rigoureux du ballon
- La cuve doit être protégée contre la corrosion et l'entartrage

**c) Production d'eau chaude semi-instantanée ou semi-accumulée**

Ce système permet d'adapter étroitement la fourniture d'eau chaude à l'irrégularité de la demande :

→ Il évite l'installation onéreuse et encombrante de ballons de grande capacité qui font face aux demandes importantes pendant les pointes de consommation mais maintiennent en température inutilement de grandes quantités d'eau pendant les heures creuses de consommation.

→ Il n'utilise pas de chaudières de production instantanée coûteuses car nécessairement surpuissantes pour satisfaire les besoins importants en débit, lors des pointes de puisages intensifs, et dont le fonctionnement intermittent est peu rationnel : il est plus rentable, pour une même consommation d'énergie, d'utiliser une chaudière de faible puissance 24 h sur 24, plutôt qu'une chaudière très puissante seulement quelques heures par jours.

### IV.3.5 Principe et calculs :

Une chaudière alimente en eau très chaude (entre 90 et 105 °C) un circuit fermé primaire qui traverse un échangeur à contre-courant. L'eau du circuit primaire arrive par le haut de l'échangeur. L'eau froide sanitaire à chauffer pénètre par le bas. Se réchauffe progressivement au contact du circuit primaire jusqu'à une température d'environ 60 °C.

L'écart de température entre les surfaces de circuits primaire et secondaire en contact n'est jamais important puisque quand l'eau froide (par ex. 15°C) arrive en bas de l'échangeur, l'eau du circuit primaire a déjà été refroidie (vers 45 à 50 °C) et en haut de l'échangeur l'eau très chaude (90 à 105 °C) venant de la chaudière est en contact avec de l'eau sanitaire déjà réchauffée (à 60 °C). Cette particularité est essentielle :

- Elle assure un rendement optimal de l'échange,
- Elle freine l'entartrage de l'appareil,
- Elle évite une dénaturation de l'eau chaude : précipitation des sels minéraux, perte de limpidité, couleur blanchâtre, élimination des gaz en solution.....

Ce système accumule l'eau chaude dans les échangeurs en quantité limitée pour ne pas gaspiller de chaleur quand la consommation est insignifiante mais suffisante pour satisfaire une brusque demande importante en débit. Quand le puisage d'eau chaude s'intensifie, l'échange de chaleur entre l'eau très chaude venant de la chaudière et l'eau sanitaire est quasi-instantané, avec un débit suffisant assuré par les échangeurs. Le circuit primaire est de faible capacité et la chaudière n'a qu'une petite quantité d'eau à chauffer et donc une puissance raisonnable.

❖ On calcule le débit total  $\dot{V}_{tot}$  que doit véhiculer la canalisation :

$$\dot{V}_{tot} = \sum V_i * n_i \quad (IV.5)$$

Avec :  $n_i$  est le nombre d'appareils.

Dans notre cas, nous avons recensé 160 lavabos et vasques, 10 baignoires, 135 douches, 04 éviers ou kitchenettes, 01 plonge.

D'où :  $\dot{V}_{tot} = (160 * 3) + (10 * 20) + (135 * 15) + (04 * 12) + (01 * 20) = 2773 \text{ l/min}$

$$\dot{V}_{tot} = 46,216 \text{ l/s}$$

$$\dot{V}_{tot} = 0,046216 \text{ m}^3/\text{s}$$

La puissance nécessaire pour chauffer ce débit d'eau entre la température d'entrée à 10 °C et celle d'utilisation à 50 °C approximativement est de :

$$P_r = \dot{V}_{tot} * C_p * \rho_{eau} * \Delta T \quad (IV.6)$$

$$P_r = 0,046216 * 4,180 * 1000 * 40 = 7727,426 \text{ kw}$$

La puissance calculée est celle en fonctionnement continu (longueur de journée). Il se trouve que ces appareils ne fonctionnent pas tous simultanément durant la journée mais uniquement une heure par jour, soit (4,2 %) de la consommation journalière.

Donc la puissance effective sera :

$$P_{er} = 7727,426 * 0,042 = 324,55 \text{ kw}$$

#### IV.4 Calcul de la puissance de chauffage à installer :

La puissance de chauffe à installer se calcule par la somme des déperditions totales des locaux, en prenant compte des coefficients  $C_r$  et  $C_{in}$  qui dépend du type et la nature du système de chauffage, et le calorifugeage du réseau de distribution à installer ainsi que l'inertie thermique de la construction (voir tableaux (IV.1) et (IV.2)).

| Le coefficient $C_r$ prend les valeurs suivantes : |                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>0</b>                                           | pour les installations de type "chauffage individuel".                                                                                       |
| <b>0,05</b>                                        | pour les installations de type "chauffage central" dans lesquelles toutes les tuyauteries sont calorifugées.                                 |
| <b>0,10</b>                                        | pour les installations de type "chauffage central" dans lesquelles les tuyauteries sont calorifugées seulement dans les zones non chauffées. |
| <b>0,20</b>                                        | pour les installations de type "chauffage central" dont le réseau de tuyauteries n'est pas calorifugé.                                       |

**Tableau IV.1 :** Valeur du coefficient  $C_r$  en fonction du type de l'installation et du Calorifugeage des conduits

| Le coefficient $C_{in}$ prend les valeurs suivantes : |                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>0,10</b>                                           | en cas de chauffage continu.                                                                                          |
| <b>0,15</b>                                           | en cas de chauffage discontinu, et dans le cas d'une construction dont la classe d'inertie est "faible" ou "moyenne". |
| <b>0,20</b>                                           | en cas de chauffage discontinu, et dans le cas d'une construction dont la classe d'inertie est "fort".                |

**Tableau IV.2 :** valeur du coefficient  $C_{in}$  en fonction de l'inertie thermique et du type de Chauffage.

Pour notre cas c'est un chauffage central à eau chaude continu dont on n'a pas prévu de calorifugeage des conduit ; la puissance sera calculée uniquement pour les quatre étages.

$$P = [T_{bi} - T_{be}] \times [(1 + \text{Max}(C_r ; C_{in}))\phi_{T, i}] + [(1 + C_r) \times \phi_{v, i}] \quad (\text{IV.7})$$

On prend :  $C_r = 0,2$  ;  $C_{in} = 0,1$

Application :  $P = \{[1 + 0,2] \times 130767,6525\} + [1,2 \times 17798,49885]$

$$P = 178280 \text{ W} \approx 180 \text{ KW}$$

La puissance que doit fournir la chaudière sans estimation de la puissance du raccordement des ventilo-convecteurs est :

$$P_{ch} = (P_{er} + P) * (1 + 0,05) \quad (\text{IV.8})$$

$$P_{ch} = (324,55 + 178,28) * (1 + 0,05) = 527,9715 \approx 528 \text{ kw}$$

$$P_{ch} = 528 \text{ kw}$$

En outre que la puissance de chauffage des quatre étage et la puissance de chauffage des besoins d'eau chaude sanitaire on estime aussi la puissance du raccordement via les ventilo-convecteurs, la puissance totale de la chaudière sera donc :  $P_{tch} = 740 \text{ k}$

## IV.5 Générateur de chaleur :

**DEFINITION :**

On appelle générateur les appareils permettant, par transformation d'une énergie, d'élever la température d'un fluide caloporteur.

Le fluide caloporteur circule à l'intérieur du générateur et, par un procédé d'échange, récupère les calories émises par la source d'énergie utilisée (fioul, gaz, bois, électricité...)

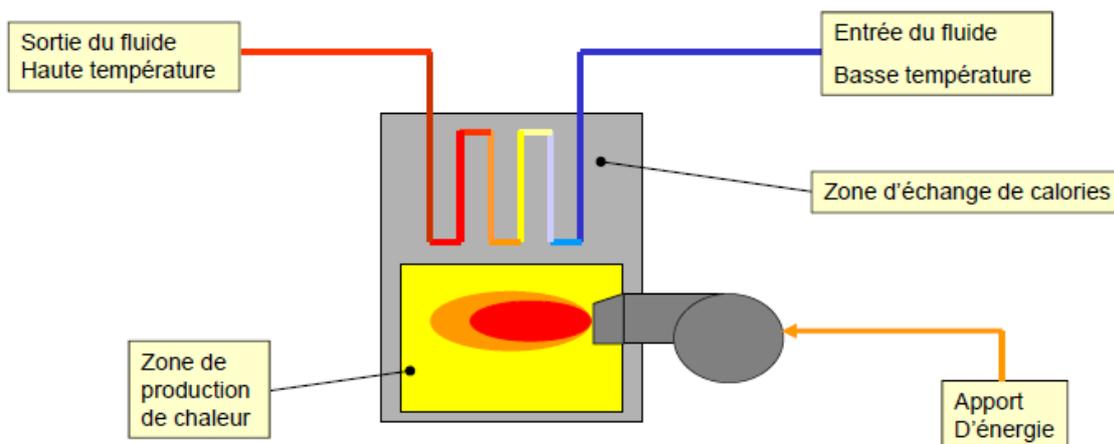
Les professionnels et le public nomment plus couramment les générateurs : chaudières

Le principe du chauffage à eau chaude est d'apporter dans les locaux les calories qui « s'échappent » par les parois : **les déperditions.**

L'eau sert de conducteur d'énergie et transporte les calories depuis le générateur jusque dans les pièces à chauffer.

Fig. IV 4 : Générateur de chaleur

## ❖ Principe :

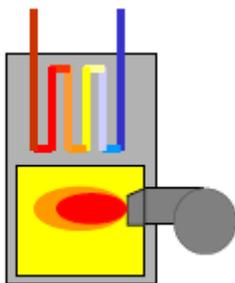


## a) GENERALITES :

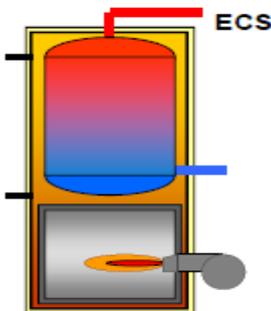
Les générateurs peuvent être de formes différentes :

- muraux** (gain de place, facilité de pose)
- au sol** (confort, puissances plus importantes) plusieurs matériaux sont utilisés pour concevoir les générateurs :
  - **la fonte** (très bon échange entre la flamme et le fluide: rendement élevé) ;
  - **l'acier** (prix attractifs, craint la corrosion, échange correct) ;
  - **l'inox** (bon échange, ne craint pas la corrosion) ;
  - **le cuivre** (excellent échange mais très cher et risque important d'électrolyse).

## b) APPLICATIONS:



**-chaudière simple service :**  
Elle assure la production de chaleur destinée à chauffer des locaux



**-chaudière double service ou mixte :**  
Elle assure la production de chaleur relative aux locaux et la production d'eau chaude sanitaire par un système intégré.

## c) COMPOSITION :

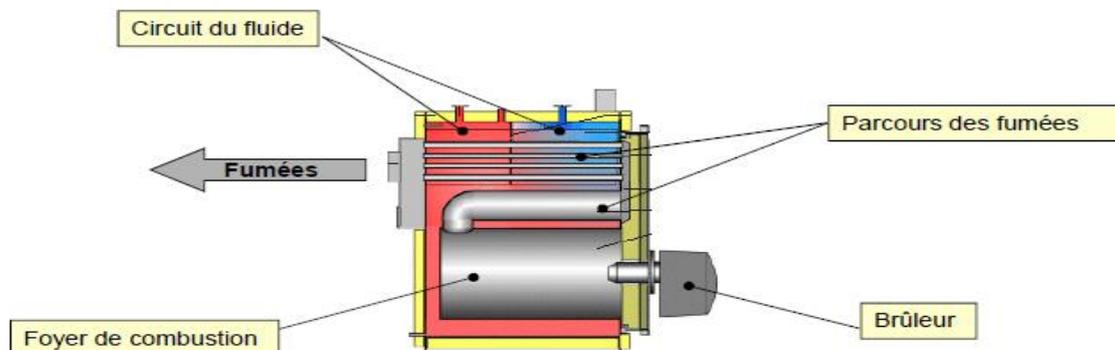


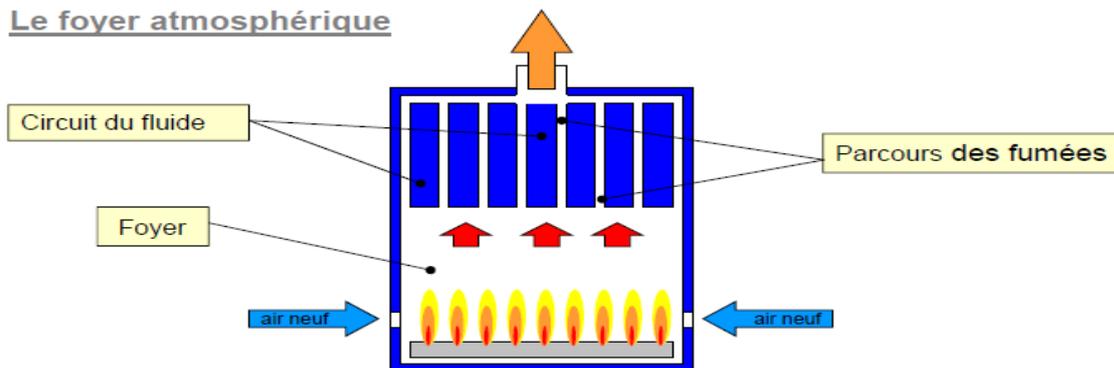
Fig.IV.5 : composition d'une chaudière

#### d) LE FOYER (OU CHAMBRE DE COMBUSTION) :

C'est l'endroit où se développe la réaction chimique de la combustion. C'est la partie du générateur où la température est la plus élevée.

Le foyer, ou chambre de combustion, peut se présenter sous deux aspects différents en fonction du type de brûleur utilisé, il peut être **pressurisé** ou à **pression atmosphérique**.

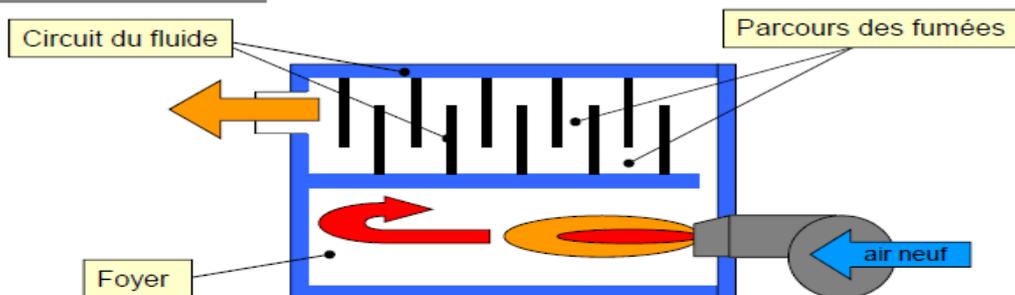
##### Le foyer atmosphérique



**Fig.IV.6 : Foyer atmosphérique**

Le foyer atmosphérique fonctionne par **tirage naturel**. C'est à dire que l'air entre naturellement par des ouvertures prévues sur ses parois et l'évacuation des gaz brûlés se fait grâce à la **dépression** créée par la cheminée. En effet, l'air, plus chaud, contenu dans le local monte, par gravité, dans le conduit en créant ainsi une dépression en son point le plus bas.

##### Le foyer pressurisé



**Figure IV.7 : Foyer pressurisé**

Le foyer pressurisé fonctionne avec des brûleurs à **air pulsé**. Contrairement au foyer atmosphérique, l'air neuf est amené de manière forcée par le brûleur.

Ce procédé permet de traverser des parcours de fumées plus travaillé et présentant un meilleur rendement d'échange.

Ce type de foyer convient particulièrement pour les moyennes et fortes puissances mais présente l'inconvénient d'être bruyant.

**Le circuit du fluide :**

Les parcours de fumées et le circuit du fluide sont entrecroisés, les parois externes du foyer et des carnaux sont complètement irriguées par le fluide caloporteur qui récupère ainsi l'énergie calorifique des produits de combustion.

**Les parcours des fumées :**

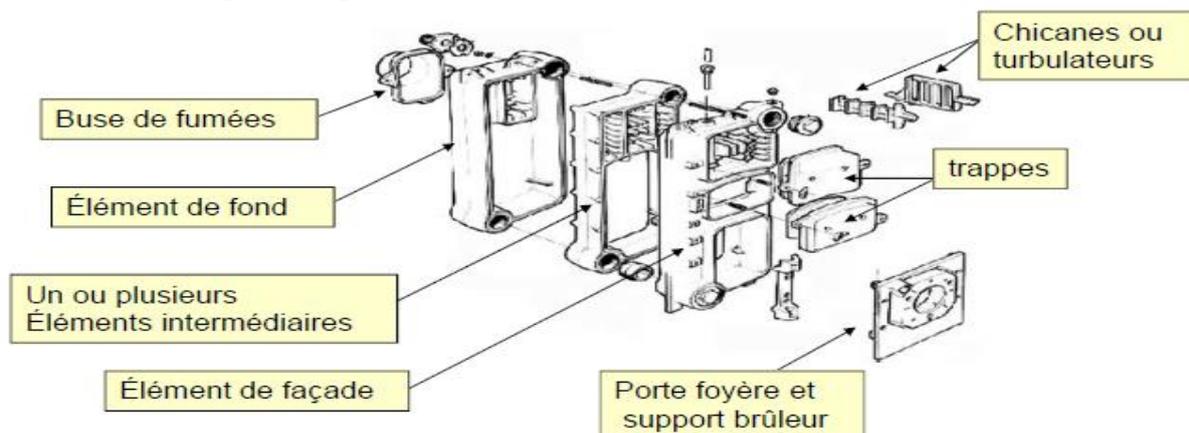
On appelle nombre de parcours le nombre d'aller et retour que font la flamme et les gaz de combustion à l'intérieur de la chaudière avant d'être évacués. Le foyer représente le premier parcours, on peut ainsi trouver des chaudières modernes à deux ou trois parcours de fumées garantissant un échange optimal et un rendement élevé. Les deuxièmes et troisièmes parcours sont constitués de réseaux de tubes ou de circuits aussi appelés carnaux dans lesquels, les produits de la combustion vont céder leur chaleur avant d'être évacués dans la cheminée. Il existe différents types de parcours de fumées selon le matériau employé pour la fabrication du corps de chauffe (foyers borgnes, foyers à tubes de fumées...).

**e) LES CHAUDIERES FONTE :****FOYER PRESSURISE :**

Le foyer pressurisé est étanche, il est employé avec un brûleur à air pulsé, qui amène l'air nécessaire à la combustion par l'intermédiaire de son ventilateur.

Cela permet de traverser des parcours de fumées plus travaillés et présentant un meilleur échange et un meilleur rendement.

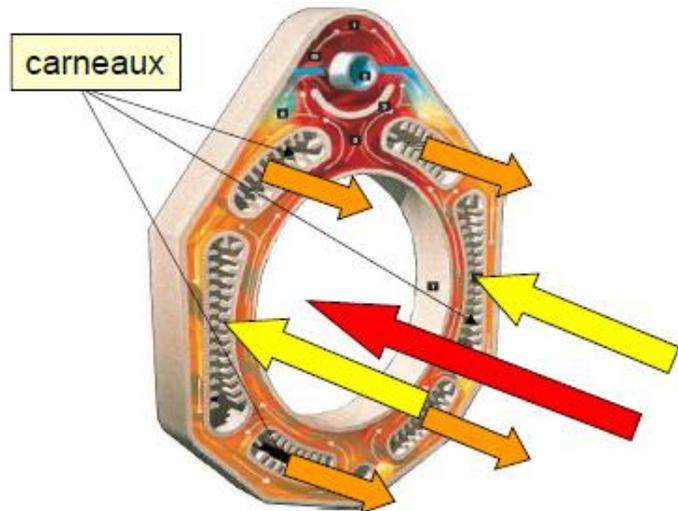
Le corps en fonte est composé de plusieurs éléments assemblés entre eux par des nipples et maintenus en compression par des barres de force filetées aux extrémités.



Le parcours des fumées des foyers en fonte est composé de carneaux. Ce sont des passages étroits et sinueux destinés à ralentir les produits de la combustion afin de favoriser l'échange entre les fumées et le fluide.

Le parcours des fumées se fait en plusieurs passages :

- premier passage
- deuxième passage
- troisième passage

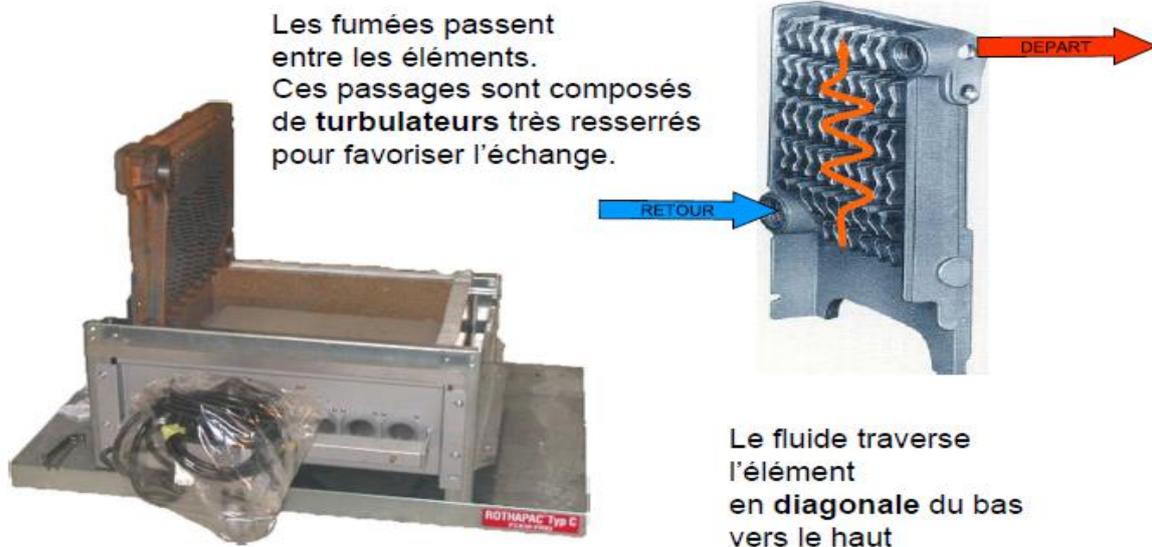


Le circuit du fluide se fait à l'intérieur de l'élément en fonte. Le fluide provenant du retour de l'installation circule sur le pourtour extérieur. Sa température est ainsi élevée avant d'arriver dans la zone la plus proche de la flamme pour éviter tout choc thermique ou point de rosée. Au contact quasiment direct de la flamme, le fluide porté à une température élevée circule naturellement par principe de thermosiphon vers le haut de l'élément pour retourner dans l'installation.



### FOYER ATMOSPHERIQUE :

Ce type de foyer ne peut être employé qu'avec un brûleur atmosphérique fonctionnant au gaz naturel ou propane car le fioul doit être pulvérisé sous pression pour s'enflammer. Les foyers atmosphériques en fonte sont également constitués de plusieurs éléments assemblés entre eux. Pour ce type de foyers, l'air nécessaire à la combustion arrive naturellement par des orifices prévus à cet effet sur le brûleur (atmosphérique) et les gaz de combustion sont évacués par le tirage naturel du conduit de cheminée.



**NOTE :** pour notre cas en prévoit une chaudière sol en fonte à basse température  
Brûleur à prévoir en option Puissance de 511 à 1.200 kW (suivant modèle).

#### IV.6 Calcul et dimensionnement des radiateurs :

La puissance des radiateurs pour une installation de chauffage se calcule par pièce et selon la taille de la pièce il faut prévoir un à deux radiateurs afin que la chaleur soit homogène. Le calcul dépend des conditions extérieures notamment la température minimale de la région en hivers. La puissance des radiateurs dépend évidemment du volume des pièces, de la température souhaitée mais aussi beaucoup de l'isolation de l'habitation. Pour un chauffage de basse température (chauffage au sol par exemple), la puissance doit être plus élevée d'environ 20 %

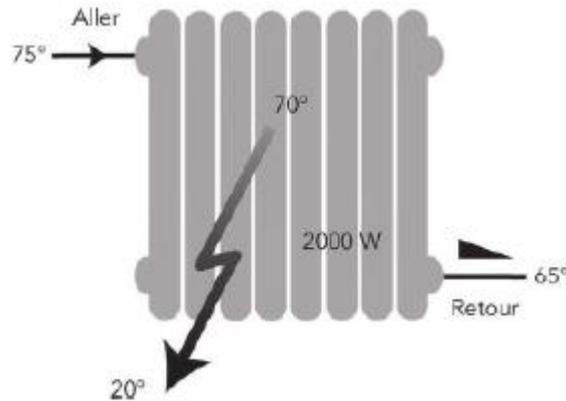
##### IV.6.1 Régime de température d'eau :

Pour choisir un radiateur, il faut adapter sa taille à la température d'eau fournie par l'équipement. En effet la puissance effective d'un radiateur dépend de la température de l'eau qui y circule.

Il existe plusieurs régimes de température d'eau :

- ▶ 90/70 (haute température - ancienne chaudière) ;
- ▶ 80/60;
- ▶ 75/65 (basse température - nouvelle chaudière - norme EN 442) ;
- ▶ 35/27 (très basse température - chauffage surfacique).

Selon la norme européenne EN 442, un équipement de chauffage (chaudière, radiateur ou batterie de chauffage) est dimensionné en régime « 75/65 ». Cela signifie que si on choisit un radiateur de 2 000 W dimensionné en régime 75/65, l'eau entre dans le radiateur à 75 °C, elle cède 2 000 W de chaleur pour un local à 20 °C, et sort avec une température de 65 °C.



**Fig IV.8: régime 75/65**

Basée sur la norme EN 442, la puissance thermique nominale des radiateurs est déterminée en chambre d'essai avec un  $\Delta T$  défini comme suit :

$$\Delta T = \frac{T_{\text{entrée de l'eau}} + T_{\text{sortie de l'eau}}}{2} - T_{\text{ambiante}} = \frac{75 + 65}{2} - 20 = 50 \text{ °C} \quad (\text{IV.09})$$

La variation de la puissance thermique d'un radiateur avec un  $\Delta T$  différent de 50°C peut être évaluée à partir de formule de calcul suivante :

$$P_{e1} = \frac{P_e}{\left[\frac{\Delta T}{50}\right]^{1,3}} \quad (\text{IV.10})$$

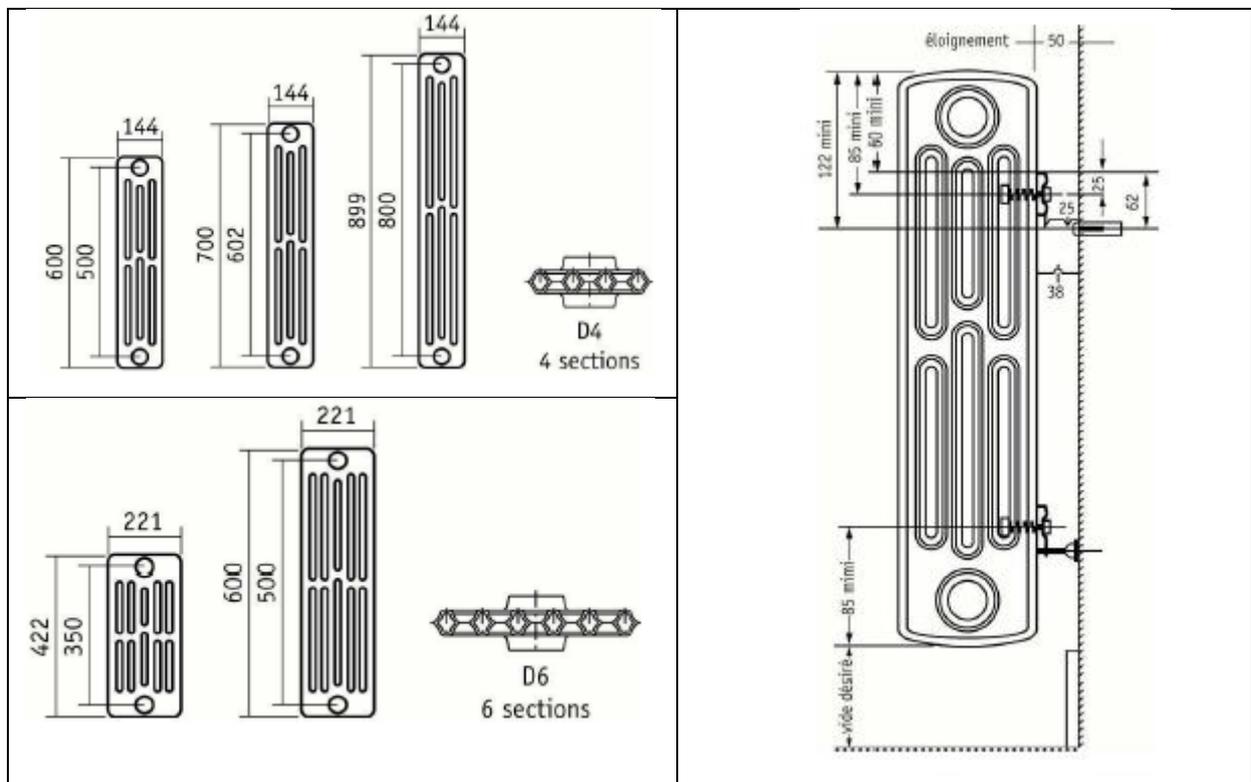
- ▶  $P_e$  : puissance chauffage du radiateur à installer (Déperditions majorée de la surpuissance si nécessaire) sans tenir compte du régime de température du fluide chauffant et de la température ambiante ;
- ▶  $P_{e1}$  : puissance corrigée du radiateur équivalente sur la base d'un AT de 50 K (valeurs indiquées généralement dans les catalogues des fournisseurs de radiateurs) ;
- ▶ 1,3 : valeur de l'exposant prise par défaut. Sinon il est préférable de prendre celle indiquée par le fabricant ;
- ▶  $\Delta T$  : différence de température entre la température moyenne de l'eau dans le radiateur et la température ambiante du local.

**IV.6.2 Choix des radiateurs :**

Les radiateurs les plus utilisés sont les radiateurs en acier, en aluminium ou en fonte. Pour cette étude on choisi les radiateurs en fonte pour leur robustesse (longue durée de vie), et aussi leur résistance à la corrosion ainsi que leur grande inertie thermique.

La marque choisi c'est CHAPPEE type Dune II D4-95 Tableau

| RADIATEURS FONTE                                                                   | DUNE II - D4 et D6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Radiateurs fonte gamme horizontale à l'élément.<br/>                     Assemblé d'usine par bloc de 10 éléments.<br/>                     Livraison sur demande par nombre d'éléments<br/>                     Montage ou démontage à l'aide du support de montage.<br/>                     Ajoute entre les éléments d'un kit d'assemblage<br/>                     Placement sur pied ou au mur<br/>                     Finition : peinture primaire anticorrosion blanc cassé RAL 9010.<br/>                     Pression de service : 4 bars<br/>                     Pression d'épreuve : 12 bars.<br/>                     NF 19/047<br/>                     Emissions en Watts Dt 50°K selon norme EN 442 mesurée.</p> |



### IV.6.3 Application au projet d'étude :

La plupart des fabricants indiquent maintenant les émissions calorifiques des radiateurs suivant la norme européenne EN 442-2. Cette norme tient compte d'un régime de dimensionnement de 75/65° pour une température intérieure 20 °C. Cette norme remplace l'ancienne norme qui se basait sur un régime de dimensionnement 90°/70°.

Une fois que l'on dispose des caractéristiques d'un radiateur données par le fabricant (catalogue), on peut établir la puissance émise pour d'autres régimes de dimensionnement (différents du régime pris dans la norme EN 442-2, c'est-à-dire 75°/65°). Une approche simplifiée permet d'établir une correspondance entre deux régimes de dimensionnement par la formule :

$$Puissance_{régime2} = \left[ \frac{\Delta T_{moy\ régime2}}{\Delta T_{moy\ régime1}} \right]^{1,3} \times Puissance_{régime1} \quad (IV.11)$$

Dans notre cas la température ambiante du local prise est égale à 21°C, ce qui nous donne :

- Calcul de  $\Delta T$  :  $\Delta T = \frac{T_{entrée\ de\ l'eau} + T_{sortie\ de\ l'eau}}{2} - T_{ambiante} = \frac{75+65}{2} - 21 = 49\ ^\circ C$

$$\Delta T = 49\ ^\circ C$$

- La puissance d'un élément en régime 75°/65° à  $\Delta T = 50^\circ C$  est  $P_{50} = 128\ W$  donnée par le catalogue CHAPPEE D4-95 (caractéristique technique pour un élément Dune II)
- On peut avoir la  $P_{49}$  (puissance émise en régime 75°/65° à  $\Delta T = 49^\circ C$ ) qui est égale :

$$P_{49} = \left( \frac{49}{50} \right)^{1,3} \times 128 = 124,68 \quad , \quad \text{On va prendre } P_{49} = 124,7\ W.$$

**Tableau IV.3** : caractéristiques techniques pour un élément Dune II

| Type         | Hauteur<br>mm | Largeur<br>mm | Épaisseur<br>mm | Poids<br>Kg | Contenance<br>en eau L | Puissance<br>Watts |
|--------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|------------------------|--------------------|
| <b>D4-65</b> | 600           | 60            | 144             | 5.3         | 0.85                   | 87.4               |
| <b>D4-75</b> | 700           | 60            | 144             | 5.9         | 0.97                   | 101                |
| <b>D4-95</b> | 899           | 60            | 144             | 7.5         | 1.10                   | 128                |
| <b>D4-48</b> | 422           | 60            | 221             | 5.8         | 0.85                   | 93.5               |
| <b>D4-65</b> | 600           | 60            | 221             | 7.7         | 1.20                   | 127                |

#### a) Détermination le nombre d'éléments de chaque radiateur :

Le nombre des éléments du radiateur est déterminé en fonction de la puissance à installer et de la puissance d'un élément du radiateur donnée dans le tableau ci-dessus

$$N = \frac{\text{déperditions du local}}{P_{49}} \quad (\text{IV.12})$$

**Remarque :** on prend toujours une valeur supérieure au résultat

### b) Détermination du débit requis pour chaque radiateur :

Pour déterminer le débit des radiateurs, il faut exprimer la puissance en Kilocalories sachant que :

$$P_{(Kcal/h)} = \frac{P_{(w)}}{1,16} \quad (\text{IV.13})$$

$$\dot{V} = \frac{P_{(Kcal/h)}}{T_{retour} - T_{allé}} \quad (L/h) \quad (\text{IV.14})$$

- $\dot{V}$  est le débit volumique (L/h)
- P est la puissance du radiateur à installé (Kcal/h)

### c) Volume d'eau du radiateur :

Pour déterminer le volume d'eau du radiateur, il faut connaître le volume d'eau d'un élément à partir du tableau fournisseur (caractéristiques techniques pour un élément Dune II), on aura donc :

$$V_{d'eau \text{ du radiateur}} = V_{d'eau \text{ d'un élément}} \times N_{élément} \quad (\text{litres}) \quad (\text{IV.15})$$

### Exemple :

Dans cet exemple, on va illustrer toutes les lois citées précédemment par une application numérique, et ceux pour la chambre (01), aile ouest, du 1<sup>er</sup> étage :

Déperditions total du local est : 1197,182 W

Nombre d'éléments = déperditions du local /  $P_{49}$  = 1197,182 / 124,7 = 9,6004

On prend 10 éléments.

On prend dans ce cas un radiateur avec 10 éléments.

$$P_{(w)} = P_{49} \times N_{élément} = 124,7 \times 10 = 1247 \text{ w}$$

$$P_{\left(\frac{Kcal}{h}\right)} = \frac{P_{(w)}}{1,16} = \frac{1247}{1,16} = 1075 \quad \left(\frac{Kcal}{h}\right)$$

$$\dot{V} = \frac{P_{\left(\frac{Kcal}{h}\right)}}{T_{retour} - T_{allé}} = \frac{1075}{75 - 65} = 107,5 \text{ L/h}$$

$$V_{d'eau \text{ du radiateur}} = V_{d'eau \text{ d'un élément}} \times N_{élément} = 1,1 \times 10 = 110 \text{ litres}$$

Les caractéristiques des radiateurs respectives à chaque chambre de l'hôtel sont rassemblées dans les tableaux qui suivent conformément au calcul mené dans l'exemple :

**Etage 1 :**

| N° Local                                        | Déperditions (W)<br>Un seul local | Nombre d'éléments | Puissance émise (W) | Capacité en eau (L) | Dimensions (H x E x L) (mm) | Débit requis (L/h) |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| Chambres Aile est                               |                                   |                   |                     |                     |                             |                    |
| Service Chambre                                 | 1133,712                          | 10                | 1247                | 10,1                | 899x144x600                 | 107,5              |
| 01-02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16 | 1286,5128                         | 11                | 1371,7              | 12,1                | 899x144x660                 | 118,25             |
| Chambre handicapé                               | 1271,1912                         | 11                | 1371,7              | 12,1                | 899x144x660                 | 118,25             |
| Service chambre                                 | 1062,72                           | 9                 | 1122,3              | 9,9                 | 899x144x540                 | 96,75              |
| Service chambre                                 | 891,8586                          | 8                 | 997,6               | 8,8                 | 899x144x480                 | 86                 |
| Service chambre                                 | 1044,072                          | 9                 | 1122,3              | 9,9                 | 899x144x540                 | 96,75              |
| Service chambre                                 | 1133,712                          | 10                | 1247                | 10,1                | 899x144x600                 | 107,5              |

| N° Local                                                             | Déperditions (W)<br>Un seul local | Nombre d'éléments | Puissance émise (W) | Capacité en eau (L) | Dimensions (H x E x L) (mm) | Débit requis (L/h) |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| Chambres Aile ouest                                                  |                                   |                   |                     |                     |                             |                    |
| Chambres 01 et 22                                                    | 1436,6184                         | 12                | 1496,4              | 13,2                | 899x144x720                 | 129                |
| Chambres 02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21 | 1286,5128                         | 11                | 1371,7              | 12,1                | 899x144x660                 | 118,25             |

## Etage 2 et 3 :

| N° Local                                        | Déperditions (W)<br>Un seul local | Nombre d'éléments | Puissance émise (W) | Capacité en eau (L) | Dimensions (H x E x L) (mm) | Débit requis (L /h) |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| Chambres Aile est                               |                                   |                   |                     |                     |                             |                     |
| Service Chambre                                 | 911.052                           | 8                 | 997,6               | 8,8                 | 899x144x480                 | 86                  |
| 01-02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16 | 852,7416                          | 7                 | 872,9               | 7,7                 | 899x144x420                 | 75,25               |
| Chambre handicapé                               | 961,752                           | 8                 | 997,6               | 8,8                 | 899x144x480                 | 86                  |
| Service chambre                                 | 827,92836                         | 7                 | 872,9               | 7,7                 | 899x144x420                 | 75,25               |
| Service chambre                                 | 828,426                           | 7                 | 872,9               | 7,7                 | 899x144x420                 | 75,25               |
| Service chambre                                 | 876,19176                         | 8                 | 997,6               | 8,8                 | 899x144x480                 | 86                  |
| Service chambre                                 | 911,05218                         | 8                 | 997,6               | 8,8                 | 899x144x480                 | 86                  |

| N° Local                                                             | Déperditions (W)<br>Un seul local | Nombre d'éléments | Puissance émise (W) | Capacité en eau (L) | Dimensions (H x E x L) (mm) | Débit requis (L /h) |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| Chambres Aile ouest                                                  |                                   |                   |                     |                     |                             |                     |
| Chambres 01 et 22                                                    | 972,5496                          | 8                 | 997,6               | 8,8                 | 899x144x480                 | 86                  |
| Chambres 02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21 | 852,7416                          | 7                 | 872,9               | 7,7                 | 899x144x420                 | 75,25               |

**Etage 4 :**

| N° Local                                        | Déperditions (W)<br>Un seul local | Nombre d'éléments | Puissance émise (W) | Capacité en eau (L) | Dimensions (H x E x L) (mm) | Débit requis (L /h) |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| Chambres Aile est                               |                                   |                   |                     |                     |                             |                     |
| Service Chambre                                 | 1038,02                           | 9                 | 1122,3              | 9,9                 | 899x144x540                 | 96,75               |
| 01-02-03-04-05-06-07-08-09-10-11-12-13-14-15-16 | 1065,5016                         | 9                 | 1122,3              | 9,9                 | 899x144x540                 | 96,75               |
| Chambre handicapé                               | 1072,99                           | 9                 | 1122,3              | 9,9                 | 899x144x540                 | 96,75               |
| Service chambre                                 | 943                               | 8                 | 997,6               | 8,8                 | 899x144x480                 | 86                  |
| Service chambre                                 | 859,8042                          | 7                 | 872,9               | 7,7                 | 899x144x420                 | 75,25               |
| Service chambre                                 | 968,6136                          | 8                 | 997,6               | 8,8                 | 899x144x480                 | 86                  |
| Service chambre                                 | 911,05218                         | 8                 | 997,6               | 8,8                 | 899x144x480                 | 86                  |

| N° Local             | Déperditions (W)<br>Un seul local | Nombre d'éléments | Puissance émise (W) | Capacité en eau (L) | Dimensions (H x E x L) (mm) | Débit requis (L /h) |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| Chambres Aile ouest  |                                   |                   |                     |                     |                             |                     |
| Chambre 01           | 1213,9224                         | 10                | 1247                | 10,1                | 899x144x600                 | 107,5               |
| Chambre 02           | 1065,5016                         | 9                 | 1122,3              | 9,9                 | 899x144x540                 | 96,75               |
| Chambres Suites      | 2737,3248                         | 11                | 1371,7              | 12,1                | 899x144x660                 | 118,25              |
| 03-04-05-06-07-08-09 |                                   | 11                | 1371,7              | 12,1                | 899x144x660                 | 118,25              |
| Chambre suite 10     | 2300,48                           | 10                | 1247                | 10,1                | 899x144x600                 | 107,5               |
|                      |                                   | 09                | 1122,3              | 9,1                 | 899x144x540                 | 96,75               |

## V.1 Introduction

Une fois le système de chauffage défini, il convient avant de commencer le dimensionnement d'établir un schéma du circuit, faisant apparaître l'emplacement de la chaudière, de la pompe, des émetteurs, des tuyauteries et de la robinetterie. Les différents tronçons allant de la chaudière aux émetteurs et vice versa seront numérotés systématiquement, et les puissances thermiques et les longueurs des tuyaux seront également reportées sur le schéma. Pour que l'eau de chauffage circule dans le système de canalisations, il doit régner une différence de pression qui aura la capacité de vaincre les pertes de charges.

Étant donné que les équations de perte de charge ne doivent être résolues par ordinateur ou en utilisant des abaques pour déterminer l'inconnu  $d$  (diamètre du tuyau), les procédés de calcul se divisent en deux étapes : un calcul préliminaire, qui consiste d'abord à évaluer les diamètres appropriés, et un calcul définitif. Ceci dit un équilibrage des circuits a souvent lieu par les diamètres des tuyaux.

Dans le cas des chauffages à eau chaude à calculateur, on utilise une pompe de circulation pour vaincre les résistances des tuyaux et des points de consommation. On obtient de la sorte une mise en température rapide avec une bonne capacité de la régulation et des réseaux de canalisations à des prix avantageux, pour des tracés divers selon l'importance du refoulement de la pompe et l'écart de température, différents diamètres de tuyaux sont possibles.

## V-2. Dimensionnement du réseau de la tuyauterie

Avec des petits diamètres, le coût d'investissement est faible pour le réseau de canalisations, mais le coût d'exploitation est relativement élevé. Si l'on choisit en revanche de gros diamètres pour le réseau des canalisations, le coût d'investissement est alors élevé mais le coût d'exploitation de la pompe est plus faible on obtient généralement les diamètres optimaux de tuyaux avec des vitesses d'environ 0.3 à 1.5 m/s dans les conduits de distribution principaux, et jusqu'à 3 m/s et plus dans les canalisations à grande distance. Les pertes de charge moyennes se situent entre 50 et 100 Pa/m dans les petites installations, entre 100 et 200 Pa/m dans les grosses installations et plus dans certaines installations spéciales.

### V-2.1. Mode de distribution de l'eau

Dans les systèmes de chauffage, la chaleur est apportée par l'eau chaude (fluide caloporteur), ce dernier utilise des réseaux de tuyauteries comme moyen de circulation. On distingue deux modes de circulation :

- **Circulation naturelle (thermosiphon)**

Dit par gravitation dont le bon fonctionnement exige une différence de niveau suffisante entre le générateur (chaudière) et les unités terminales.

- **Circulation pulsée**

Elle est réalisée à l'aide d'une pompe, utilisée dans les bâtiments de grandes hauteurs et comportant plusieurs locaux.

Comme dans la plupart des installations de chauffage central actuel, le mode de distribution adopté à cette étude est celui de la distribution pulsée.

### **V-2.2. Pertes de charge dans le réseau de tuyauterie**

Le déplacement d'un fluide dans une canalisation implique l'existence d'une force qui engendre son mouvement. Cette force résulte d'une pression en amont du réseau, qui est couramment appelée la hauteur de charge ou, plus simplement, la charge par analogie à la hauteur d'une colonne d'eau égale à la dénivellation.

Cette hauteur de charge est donc variable suivant les endroits du circuit. De plus, sous l'effet du frottement du fluide sur les parois des canalisations et des obstacles rencontrés, cette charge initiale diminue tout au long du parcours.

On parle ainsi de pertes de charge. Elle se mesure en Pascal (Pa) ou en mm de colonne d'eau ( $1 \text{ mm CE} = 9.81 \text{ Pa}$  ;  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ ).

Les pertes de charge dépendent du matériau, du débit, de la forme du tracé, du diamètre et de la longueur des canalisations.

On distingue deux sortes de pertes de charge :

- Linéaire (par frottement).
- Particulières ou singulières dues aux accidents de parcours et aux obstacles (coudes, vannes, ext...).

#### **V-2.2.1. Perte de charge linéaire**

Les pertes de charge linéaires résultent du frottement exercé entre le fluide et la surface intérieure de la canalisation ainsi que les frottements exercés entre les particules du fluide, ce qui engendre une perte de pression. Elles sont proportionnelles à la longueur  $L$  et de la conduite et au carré de la vitesse moyenne  $v$  du fluide, inversement proportionnelle au diamètre  $d$  et fonction de la rugosité moyenne  $\lambda$  de la canalisation.

Cette chute de pression est donnée par la formule suivante : [8]

$$\Delta P_l = J \cdot L \quad (\text{V.1})$$

Avec :

$$J = \frac{\lambda}{d} \rho \frac{v^2}{2} \quad (\text{en } \frac{\text{Pa}}{\text{m}}) \quad (\text{V.2})$$

Avec  $\rho$  : Masse volumique de l'eau (à  $T = 80^\circ\text{C}$  ;  $\rho = 972 \text{ Kg/m}^3$ )

$\lambda$  : Coefficient de frottement.

L : longueur du conduit (m).

d : diamètre intérieur du conduit (m).

v : vitesse moyenne du fluide (m/s).

### V-2.2.2. Pertes de charge particulières

Les pertes de charges singulières résultent de la présence de coudes, raccords, branchements, robinets, etc. Tout ces éléments (singularité), installés le long des canalisations, constituent des obstacles qui freinent le passage du fluide et amènent des pertes de charge.

Les pertes singulières sont caractérisées à partir d'un coefficient de perte nommé zêta  $\xi$ , et sont calculées par la formule suivante. [8]

$$\Delta p_s = \sum \xi \rho \frac{v^2}{2} \quad (\text{en Pascal}) \quad (\text{V.3})$$

### V-2.2.3. Perte de charge totale

Les vitesses de circulation n'étant pas uniformes dans un réseau de tuyauteries, il est nécessaire de le divisé en tronçons partiels. La chute de pression totale d'un tronçon est donnée par la formule suivante :

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_s + \Delta p_l \quad (\text{V.4})$$

### V-2.3. Calcul du réseau de tuyauterie

Le calcul du réseau consiste à faire un choix judicieux des diamètres des conduites ainsi que la qualité de ces dernière de façon à réaliser un compromis entre le bon fonctionnement de l'installation et sont cout de revient.

En partant du débit calorifique véhiculé dans chaque tronçon, on détermine le diamètre de la conduite, la vitesse de circulation et les pertes de charge linéique. Ensuite les pertes de charge singulière peuvent être déterminées par le produit de la pression dynamique de chaque tronçon et la somme des coefficients ( $\xi$ ). [9]

La méthode utilisée pour cette étude est celle qu'on trouve dans la majorité des bureaux d'études, cette méthode est basée sur l'utilisation des abaques de perte de charge appropriée au matériau utilisé (acier), en se fixant une perte de charge maximale pour chaque tronçon et une vitesse de circulation maximale.

Pour notre cas on a choisit de fixer une perte de charge maximale de 20 (mmCE/m) et une vitesse maximal de 1 (m/s) pour travailler sur l'abaque (Annexe 4 Tableau A4.1). Les coefficients de perte de charge singulières ( $\xi$ ) sont donné dans l'annexe 4 (Tableaux A4.2 ; A4.3).

Les résultats de ce dimensionnement sont dans le tableau (4.1)

| Tronçon   | Q (l/h) | d (mm) | v (m/s) | r (mmce/m) | L (m) | $\Sigma \xi$ | $(\rho v^2)/2$ (Pa) | $\Delta p_l$ (Pa) | $\Delta p_s$ (Pa) | $\Delta p_{tot}$ (Pa) |
|-----------|---------|--------|---------|------------|-------|--------------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| Circuit 1 |         |        |         |            |       |              |                     |                   |                   |                       |
| 1.1.Ea    | 1480    | 33     | 0,46    | 8          | 4,2   | 4,5          | 102,818556          | 329,616           | 462,683502        | 792,299502            |
| 1.2.Ea    | 1110    | 26     | 0,55    | 16         | 2,95  | 3            | 146,987775          | 463,032           | 440,963325        | 903,995325            |
| 1.3.Ea    | 740     | 26     | 0,38    | 8          | 2,95  | 3,5          | 70,165404           | 231,516           | 245,578914        | 477,094914            |
| 1.4.Ea    | 370     | 20     | 0,37    | 10         | 1     | 3            | 66,521079           | 98,1              | 199,563237        | 297,663237            |
| 1.1.r1a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.1.r2a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.2.r1a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.2.r2a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.3.r1a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.3.r2a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.4.r1a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.4.r2a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.1.Er    | 1480    | 33     | 0,46    | 8          | 4,2   | 4,5          | 102,818556          | 329,616           | 462,683502        | 792,299502            |
| 1.2.Er    | 1110    | 26     | 0,55    | 16         | 2,95  | 3            | 146,987775          | 463,032           | 440,963325        | 903,995325            |
| 1.3.Er    | 740     | 26     | 0,38    | 8          | 2,95  | 3,5          | 70,165404           | 231,516           | 245,578914        | 477,094914            |
| 1.4.Er    | 370     | 20     | 0,37    | 10         | 1     | 3            | 66,521079           | 98,1              | 199,563237        | 297,663237            |
| 1.1.r1r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.1.r2r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.2.r1r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.2.r2r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.3.r1r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.3.r2r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.4.r1r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 1.4.r2r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| Circuit 2 |         |        |         |            |       |              |                     |                   |                   |                       |
| 2.1.Ea    | 1480    | 33     | 0,46    | 8          | 4,2   | 4,5          | 102,818556          | 329,616           | 462,683502        | 792,299502            |
| 2.2.Ea    | 1110    | 26     | 0,55    | 16         | 2,95  | 3            | 146,987775          | 463,032           | 440,963325        | 903,995325            |
| 2.3.Ea    | 740     | 26     | 0,38    | 8          | 2,95  | 3,5          | 70,165404           | 231,516           | 245,578914        | 477,094914            |
| 2.4.Ea    | 370     | 20     | 0,37    | 10         | 1     | 3            | 66,521079           | 98,1              | 199,563237        | 297,663237            |
| 2.1.r1a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.1.r2a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.2.r1a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.2.r2a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.3.r1a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.3.r2a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.4.r1a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.4.r2a   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.1.Er    | 1480    | 33     | 0,46    | 8          | 4,2   | 4,5          | 102,818556          | 329,616           | 462,683502        | 792,299502            |
| 2.2.Er    | 1110    | 26     | 0,55    | 16         | 2,95  | 3            | 146,987775          | 463,032           | 440,963325        | 903,995325            |
| 2.3.Er    | 740     | 26     | 0,38    | 8          | 2,95  | 3,5          | 70,165404           | 231,516           | 245,578914        | 477,094914            |
| 2.4.Er    | 370     | 20     | 0,37    | 10         | 1     | 3            | 66,521079           | 98,1              | 199,563237        | 297,663237            |
| 2.1.r1r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.1.r2r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.2.r1r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.2.r2r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.3.r1r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.3.r2r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.4.r1r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| 2.4.r2r   | 185     | 15     | 0,27    | 8          | 6,46  | 14           | 35,422839           | 506,9808          | 495,919746        | 1002,900546           |
| Circuit 3 |         |        |         |            |       |              |                     |                   |                   |                       |

|           |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
|-----------|------|----|------|----|------|-----|------------|----------|------------|-------------|
| 3.1.Ea    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 3.2.Ea    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 3.3.Ea    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 3.4.Ea    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 3.1.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.1.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.2.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.2.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.3.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.3.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.4.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.4.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.1.Er    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 3.2.Er    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 3.3.Er    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 3.4.Er    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 3.1.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.1.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.2.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.2.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.3.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.3.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.4.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 3.4.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| Circuit 4 |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 4.1.Ea    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 4.2.Ea    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 4.3.Ea    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 4.4.Ea    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 4.1.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.1.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.2.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.2.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.3.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.3.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.4.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.4.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.1.Er    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 4.2. Er   | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 4.3. Er   | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 4.4. Er   | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 4.1.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.1.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.2.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.2.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.3.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.3.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.4.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 4.4.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| Circuit 5 |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 5.1.Ea    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 5.2.Ea    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 5.3.Ea    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 5.4.Ea    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |

|           |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
|-----------|------|----|------|----|------|-----|------------|----------|------------|-------------|
| 5.1.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.1.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.2.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.2.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.3.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.3.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.4.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.4.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.1.Er    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 5.2.Er    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 5.3.Er    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 5.4.Er    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 5.1.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.1.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.2.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.2.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.3.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.3.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.4.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 5.4.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| Circuit 6 |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 6.1.Ea    | 840  | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 6.2.Ea    | 630  | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 6.3.Ea    | 420  | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 6.4.Ea    | 210  | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 6.1.R1a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.1.R2a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.2.R1a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.2.R2a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.3.R1a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.3.R2a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.4.R1a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.4.R2a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.1.Er    | 840  | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 6.2.Er    | 630  | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 6.3.Er    | 420  | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 6.4.Er    | 210  | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 6.1.R1r   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.1.R2r   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.2.R1r   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.2.R2r   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.3.R1r   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.3.R2r   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.4.R1r   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 6.4.R2r   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| Circuit 7 |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 7.1.Ea    | 840  | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 7.2.Ea    | 630  | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 7.3.Ea    | 420  | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 7.4.Ea    | 210  | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 7.1.R1a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.1.R2a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.2.R1a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.2.R2a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |

|           |     |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
|-----------|-----|----|------|----|------|-----|------------|----------|------------|-------------|
| 7.3.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.3.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.4.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.4.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.1.Er    | 840 | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 7.2.Er    | 630 | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 7.3.Er    | 420 | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 7.4.Er    | 210 | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 7.1.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.1.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.2.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.2.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.3.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.3.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.4.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 7.4.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| Circuit 8 |     |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 8.1.Ea    | 840 | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 8.2.Ea    | 630 | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 8.3.Ea    | 420 | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 8.4.Ea    | 210 | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 8.1.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.1.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.2.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.2.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.3.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.3.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.4.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.4.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.1.Er    | 840 | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 8.2.Er    | 630 | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 8.3.Er    | 420 | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 8.4.Er    | 210 | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 8.1.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.1.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.2.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.2.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.3.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.3.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.4.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 8.4.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| Circuit 9 |     |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 9.1.Ea    | 840 | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 9.2.Ea    | 630 | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 9.3.Ea    | 420 | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 9.4.Ea    | 210 | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 9.1.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.1.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.2.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.2.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.3.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.3.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.4.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.4.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |

|            |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
|------------|------|----|------|----|------|-----|------------|----------|------------|-------------|
| 9.1.Er     | 840  | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 9.2.Er     | 630  | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 9.3.Er     | 420  | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 9.4.Er     | 210  | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 9.1.R1r    | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.1.R2r    | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.2.R1r    | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.2.R2r    | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.3.R1r    | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.3.R2r    | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.4.R1r    | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 9.4.R2r    | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| Circuit 10 |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 10.1.Ea    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 4,2  | 2,5 | 70,165404  | 329,316  | 175,41351  | 505,02951   |
| 10.2.Ea    | 555  | 20 | 0,44 | 14 | 2,95 | 1,5 | 94,072176  | 405,153  | 94,072176  | 499,225176  |
| 10.3.Ea    | 370  | 20 | 0,28 | 6  | 2,95 | 1,5 | 38,095344  | 173,637  | 57,143016  | 230,780016  |
| 10.4.Ea    | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 1    | 2   | 35,422839  | 78,48    | 70,845678  | 149,325678  |
| 10.1.R1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 10.2.R1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 10.3.R1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 10.4.R1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 10.1.Er    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 4,2  | 2,5 | 70,165404  | 329,316  | 175,41351  | 505,02951   |
| 10.2.Er    | 555  | 20 | 0,44 | 14 | 2,95 | 1,5 | 94,072176  | 405,153  | 94,072176  | 499,225176  |
| 10.3.Er    | 370  | 20 | 0,28 | 6  | 2,95 | 1,5 | 38,095344  | 173,637  | 57,143016  | 230,780016  |
| 10.4.Er    | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 1    | 2   | 35,422839  | 78,48    | 70,845678  | 149,325678  |
| 10.1.R1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 10.2.R1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 10.3.R1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 10.4.R1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| Circuit 11 |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 11.1.Oa    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 11.2.Oa    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 11.3.Oa    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 1.14.Oa    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 11..R1a    | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.1.R2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.2.R1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.2.R2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.3.R1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.3.R2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.4.R1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.4.R2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.1.Or    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 11.2.Or    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 11.3.Or    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 11.4.Or    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 11.1.R1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.1.R2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.2.R1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.2.R2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.3.R1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.3.R2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.4.R1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 11.4.R2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |

| Circuit 12 |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
|------------|------|----|------|----|------|-----|------------|----------|------------|-------------|
| 12.1.Oa    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 12.2.Oa    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 12.3.Oa    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 12.4.Oa    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 12.1.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.1.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.2.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.2.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.3.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.3.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.4.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.4.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.1.Or    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 12.2.Or    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 12.3.Or    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 12.4.Or    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 12.1.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.1.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.2.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.2.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.3.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.3.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.4.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 12.4.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| Circuit 13 |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 13.1.Oa    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 13.2.Oa    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 13.3.Oa    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 13.4.Oa    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 13.1.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.1.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.2.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.2.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.3.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.3.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.4.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.4.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.1.Or    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 13.2.Or    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 13.3.Or    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 13.4.Or    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 13.1.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.1.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.2.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.2.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.3.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.3.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.4.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 13.4.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| Circuit 14 |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 14.1.Oa    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 14.2.Oa    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 14.3.Oa    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |

|            |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
|------------|------|----|------|----|------|-----|------------|----------|------------|-------------|
| 14.4.Oa    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 14.1.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.1.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.2.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.2.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.3.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.3.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.4.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.4.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.1.Or    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 14.2. Or   | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 14.3. Or   | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 14.4. Or   | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 14.1.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.1.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.2.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.2.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.3.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.3.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.4.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 14.4.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| Circuit 15 |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 15.1.Oa    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 15.2.Oa    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 15.3.Oa    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 15.4.Oa    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 15.1.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.1.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.2.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.2.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.3.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.3.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.4.r1a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.4.r2a   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.1.Or    | 1480 | 33 | 0,46 | 8  | 4,2  | 4,5 | 102,818556 | 329,616  | 462,683502 | 792,299502  |
| 15.2.Or    | 1110 | 26 | 0,55 | 16 | 2,95 | 3   | 146,987775 | 463,032  | 440,963325 | 903,995325  |
| 15.3.Or    | 740  | 26 | 0,38 | 8  | 2,95 | 3,5 | 70,165404  | 231,516  | 245,578914 | 477,094914  |
| 15.4.Or    | 370  | 20 | 0,37 | 10 | 1    | 3   | 66,521079  | 98,1     | 199,563237 | 297,663237  |
| 15.1.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.1.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.2.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.2.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.3.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.3.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.4.r1r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 15.4.r2r   | 185  | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| Circuit 16 |      |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 16.1.Oa    | 840  | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,321415  |
| 16.2.Oa    | 630  | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 16.3.Oa    | 420  | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 16.4.Oa    | 210  | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 16.1.R1a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.1.R2a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.2.R1a   | 105  | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |

|            |     |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
|------------|-----|----|------|----|------|-----|------------|----------|------------|-------------|
| 16.2.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.3.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.3.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.4.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.4.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.1.Or    | 840 | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 16.2.Or    | 630 | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 16.3.Or    | 420 | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 16.4.Or    | 210 | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 16.1.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.1.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.2.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.2.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.3.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.3.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.4.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 16.4.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| Circuit 17 |     |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 7.1.Oa     | 840 | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 7.2.Oa     | 630 | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 17.3.Oa    | 420 | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 17.4.Oa    | 210 | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 17.1.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.1.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.2.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.2.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.3.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.3.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.4.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.4.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.1.Or    | 840 | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 17.2.Or    | 630 | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 17.3.Or    | 420 | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 17.4.Or    | 210 | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 17.1.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.1.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.2.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.2.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.3.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.3.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.4.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 17.4.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| Circuit 18 |     |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 18.1.Oa    | 840 | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 18.2.Oa    | 630 | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 18.3.Oa    | 420 | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 18.4.Oa    | 210 | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 18.1.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.1.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.2.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.2.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.3.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.3.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.4.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |

|            |     |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
|------------|-----|----|------|----|------|-----|------------|----------|------------|-------------|
| 18.4.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.1.Or    | 840 | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 18.2.Or    | 630 | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 18.3.Or    | 420 | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 18.4.Or    | 210 | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 18.1.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.1.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.2.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.2.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.3.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.3.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.4.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 18.4.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| Circuit 19 |     |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 19.1.Oa    | 840 | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 19.2.Oa    | 630 | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 19.3.Oa    | 420 | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 19.4.Oa    | 210 | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 19.1.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.1.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.2.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.2.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.3.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.3.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.4.R1a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.4.R2a   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.1.Or    | 840 | 26 | 0,43 | 10 | 4,2  | 4,5 | 89,844759  | 412,02   | 404,301416 | 816,3214155 |
| 19.2.Or    | 630 | 20 | 0,47 | 16 | 2,95 | 3   | 107,337519 | 463,032  | 322,012557 | 785,044557  |
| 19.3.Or    | 420 | 20 | 0,32 | 8  | 2,95 | 3,5 | 49,757184  | 231,516  | 174,150144 | 405,666144  |
| 19.4.Or    | 210 | 15 | 0,3  | 10 | 1    | 3   | 43,7319    | 98,1     | 131,1957   | 229,2957    |
| 19.1.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.1.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.2.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.2.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.3.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.3.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.4.R1r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| 19.4.R2r   | 105 | 15 | 0,18 | 4  | 6,46 | 14  | 15,743484  | 253,4904 | 220,408776 | 473,899176  |
| Circuit 20 |     |    |      |    |      |     |            |          |            |             |
| 20.1.Oa    | 740 | 26 | 0,38 | 8  | 4,2  | 2,5 | 70,165404  | 329,316  | 175,41351  | 505,02951   |
| 20.2.Oa    | 555 | 20 | 0,44 | 14 | 2,95 | 1,5 | 94,072176  | 405,153  | 94,072176  | 499,225176  |
| 20.3.Oa    | 370 | 20 | 0,28 | 6  | 2,95 | 1,5 | 38,095344  | 173,637  | 57,143016  | 230,780016  |
| 20.4.Oa    | 185 | 15 | 0,27 | 8  | 1    | 2   | 35,422839  | 78,48    | 70,845678  | 149,325678  |
| 20.1.R1a   | 185 | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 20.2.R1a   | 185 | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 20.3.R1a   | 185 | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 20.4.R1a   | 185 | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 20.1.Or    | 740 | 26 | 0,38 | 8  | 4,2  | 2,5 | 70,165404  | 329,316  | 175,41351  | 505,02951   |
| 20.2.Or    | 555 | 20 | 0,44 | 14 | 2,95 | 1,5 | 94,072176  | 405,153  | 94,072176  | 499,225176  |
| 20.3.Or    | 370 | 20 | 0,28 | 6  | 2,95 | 1,5 | 38,095344  | 173,637  | 57,143016  | 230,780016  |
| 20.4.Or    | 185 | 15 | 0,27 | 8  | 1    | 2   | 35,422839  | 78,48    | 70,845678  | 149,325678  |
| 20.1.R1r   | 185 | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 20.2.R1r   | 185 | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |
| 20.3.R1r   | 185 | 15 | 0,27 | 8  | 6,46 | 14  | 35,422839  | 506,9808 | 495,919746 | 1002,900546 |

|                   |       |    |      |    |       |     |            |           |            |             |
|-------------------|-------|----|------|----|-------|-----|------------|-----------|------------|-------------|
| 20.4.R1r          | 185   | 15 | 0,27 | 8  | 6,46  | 14  | 35,422839  | 506,9808  | 495,919746 | 1002,900546 |
| Circuit 21        |       |    |      |    |       |     |            |           |            |             |
| 21.1.Oa           | 420   | 20 | 0,32 | 8  | 4,2   | 2,5 | 49,757184  | 329,616   | 124,39296  | 454,00896   |
| 21.2.Oa           | 315   | 20 | 0,28 | 6  | 2,95  | 1   | 38,095344  | 173,637   | 38,095344  | 211,732344  |
| 21.3.Oa           | 210   | 15 | 0,3  | 10 | 2,95  | 2,5 | 43,7319    | 289,395   | 109,32975  | 398,72475   |
| 21.4.Oa           | 105   | 15 | 0,18 | 4  | 1     | 1,5 | 15,743484  | 39,24     | 23,615226  | 62,855226   |
| 21.1.R1a          | 105   | 15 | 0,18 | 4  | 6,46  | 14  | 15,743484  | 253,4904  | 220,408776 | 473,899176  |
| 21.2.R1a          | 105   | 15 | 0,18 | 4  | 6,46  | 14  | 15,743484  | 253,4904  | 220,408776 | 473,899176  |
| 21.3.R1a          | 105   | 15 | 0,18 | 4  | 6,46  | 14  | 15,743484  | 253,4904  | 220,408776 | 473,899176  |
| 21.4.R1a          | 105   | 15 | 0,18 | 4  | 6,46  | 14  | 15,743484  | 253,4904  | 220,408776 | 473,899176  |
| 21.1.Or           | 420   | 20 | 0,32 | 8  | 4,2   | 2,5 | 49,757184  | 329,616   | 124,39296  | 454,00896   |
| 21.2.Or           | 315   | 20 | 0,28 | 6  | 2,95  | 1   | 38,095344  | 173,637   | 38,095344  | 211,732344  |
| 21.3.Or           | 210   | 15 | 0,3  | 10 | 2,95  | 2,5 | 43,7319    | 289,395   | 38,095344  | 398,72475   |
| 21.4.Or           | 105   | 15 | 0,18 | 4  | 1     | 1,5 | 15,743484  | 39,24     | 23,615226  | 62,855226   |
| 21.1.R1r          | 105   | 15 | 0,18 | 4  | 6,46  | 14  | 15,743484  | 253,4904  | 220,408776 | 473,899176  |
| 21.2.R1r          | 105   | 15 | 0,18 | 4  | 6,46  | 14  | 15,743484  | 253,4904  | 220,408776 | 473,899176  |
| 21.3.R1r          | 105   | 15 | 0,18 | 4  | 6,46  | 14  | 15,743484  | 253,4904  | 220,408776 | 473,899176  |
| 21.4.R1r          | 105   | 15 | 0,18 | 4  | 6,46  | 14  | 15,743484  | 253,4904  | 220,408776 | 473,899176  |
| Circuit principal |       |    |      |    |       |     |            |           |            |             |
| P                 | 22807 | 80 | 1.29 | 20 | 70.29 | 80  | 808,602831 | 13790,898 | 64688,2265 | 78479,12448 |

### V-3. Choix des pompes

Pour assurer une bonne circulation d'eau dans l'installation, la pression exercée sur cette eau au départ de la chaudière doit être suffisante pour vaincre l'ensemble des résistances opposées par la longueur de la tuyauterie et ces singularités ainsi que les chaudières.

Les pompes sont choisies en fonction du débit à faire circuler et de la hauteur manométrique, cette hauteur est égale à la perte de charge du réseau le plus défavorisé.

#### V-3.1. Choix des pompes de circulation pour le réseau d'eau chaude

Notre réseau de distribution est partagé en quatre circuit A, B, C et D, au départ de la chaufferie on fait une jonction pour A et B, et une autre jonction pour C et D qui on données deux circuit AB et CD.

La hauteur manométrique est donnée comme suit :

$$H_{mt} = P_{dc_{\text{reseau}}} + P_{dc_{\text{chaudiere}}} + P_{dc_{\text{filtre}}} \quad (\text{IV.5})$$

#### *Application :*

Circuit de chauffage AB :

$$P_{dc_{\text{reseau}}} = 11,24 \text{ mCe}$$

$$P_{dc_{\text{chaudiere}}} = 0,438 \text{ mCe} \quad (\text{Annexe 5 ; Tableau A5.2})$$

$$P_{dc_{\text{filtre}}} = 16,21 \text{ mbar} = 0,165 \text{ mCe} \quad (\text{Annexe 2 ; Figure A2.1})$$

$$H_{mt} = 11,24 + (0,438) + 0,165 = 11,843 \text{ mCe}$$

$$Q_{VAB} = 22,81 \text{ m}^3/\text{h}$$

Circuit AB : On choisi donc deux pompes jumelé **SALMSON JRL 205-12/1.5** (Annexe 4.1)  
 Dont les caractéristiques sont : Hauteur maxi : 15 mCe

Débit maxi : 30 m<sup>3</sup>/h

**V-3.2. Choix de la pompe de recyclage d'eau chaude**

Il est impératif d'établir un circuit de recyclage dans une installation de chauffage de telle façon que l'eau de retour ne soit jamais inférieure à 50°C. Dans ce cas, il faut faire passer un débit minimum à travers la chaudière qui est estimé au 1/3 du débit nominal des pompes de circulation.

Il faut avoir le débit d'eau chaude total à la sortie de la chaudière qui se calcule comme suit :

$$Q_{vt} = \frac{P_{ch}}{C_p \cdot \rho \cdot \Delta T} \quad (IV.6)$$

Ou bien on utilise le débit du circuit :

$$Q_{vt} = 22.81 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le débit minimum à recycler est égale à 1/3 du débit total d'où :

$$Q_{vr} = 1/3 \times Q_{vt} = 7.603 \text{ m}^3/\text{h}$$

Calcule de la perte de charge du circuit de recyclage :

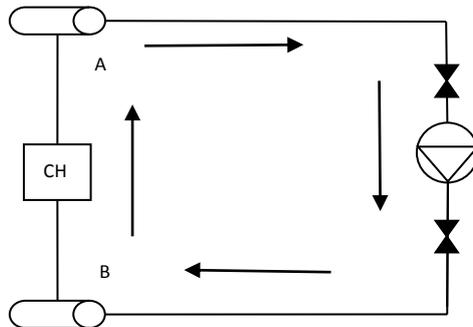


Figure 4.2 : Schéma du circuit de recyclage d'eau chaude.  
 Source : Auteurs

| Tronçon | Q<br>(l/h) | d<br>(mm) | v<br>(m/s) | r<br>mmCe/m | L<br>(m) | Σ ξ | $\frac{\rho v^2}{2}$ | Δp <sub>l</sub><br>mce | Δp <sub>s</sub><br>mce | Δp <sub>tot</sub><br>mce |
|---------|------------|-----------|------------|-------------|----------|-----|----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| A-B     | 7603       | 50        | 0.92       | 18          | 1.92     | 18  | 411.27               | 0.035                  | 0.755                  | 0.79                     |

Tableau 4.2 : Perte de charge dans le circuit de recyclage.

Le débit à recycler est de  $7.603 \text{ m}^3/\text{h}$

La hauteur manométrique est  $0.79 \text{ mCe}$

On choisira pour le circuit de recyclage une pompe simple :

**SALMSON JLR 405-10.5/0.12** (Annexe 4.2)

Dont les caractéristiques sont : Hauteur maxi :  $3 \text{ mCe}$

Débit maxi :  $13 \text{ m}^3/\text{h}$

#### **V-4. Robinets d'isolement manuels et filtre à tamis**

Tout le circuit de l'installation est équipé de vannes d'isolement manuels, dans le but de changer, remplacer, purger, rénover ou d'intervenir sur un organe en cas d'anomalies. Ces robinets d'isolement manuels sont placés à chaque pied de colonne montante.

Les filtres à tamis retiennent toutes les particules telles que l'oxyde de fer, le sable, les copeaux, le chanvre, ... pour protéger les canalisations, et sont équipés d'une purge de dé-colmatage rapide permettant leur nettoyage, il est conseillé de les placés sur le circuit de chauffage en aval des chaudières.

#### **V-5. Dimensionnement des collecteurs**

Les collecteurs sont des portions de tuyauteries dont le diamètre est supérieur à ceux du branchement des chaudières ce diamètre peut se calculer par la relation suivante :

$$d_{cc} = d_c \cdot \sqrt{n} \quad (\text{V.7})$$

Où :  $d_c$  : diamètre intérieur de raccordement.

$n$  : nombre de chaudière.

- **Application au projet :**

La chaufferie contient deux chaudières ( $n = 2$ ) et que le diamètre intérieur de raccordement est égale à  $90 \text{ mm}$ .

Donc le diamètre des collecteurs aller et retour de la chaudière sera égale à :

$$d_{cc} = d_c \cdot \sqrt{n} = 90 \sqrt{2} = 127.28 \text{ mm.}$$

$$d_{cc} = 125 \text{ mm.}$$

La longueur est égale la somme des largeurs des deux chaudières plus un passage entre les deux fixé à  $80 \text{ Cm}$  et un surplus de  $10 \text{ Cm}$  de chaque coté, ce qui donne  $L_{cc} = 5.532 \text{ m}$ .

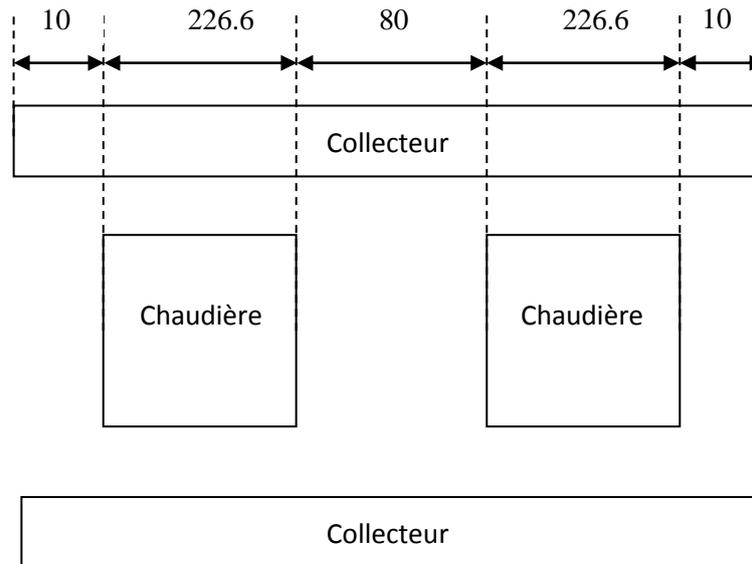


Figure 4.1 : Longueur des collecteurs des chaudières.

### V-6. Choix du vase d'expansion

Tous les circuits de chauffage sont soumis à des fluctuations de température plus ou moins importante. Une des caractéristiques des fluides oblige ceux-ci à se dilater en cas d'élévation de leur température. Afin de minimiser les variations de pression dans les circuits fermés, le rôle du vase d'expansion consiste à absorber la variation de cette masse. [12]

Pour cette étude on fait appel à un vase d'expansion clôt divisé en deux parties par une membrane en caoutchouc déformable, l'une est relié au réseau l'autre est mise sous pression par un gaz neutre (azote), qui permet l'absorption des variations de volume de l'installation.

Toutefois le volume du vase dépend du volume de l'installation et des pressions de tarage et de gonflage.

**V-6.1 Volume total de l'installation**

C'est le volume du réseau de la tuyauterie, les radiateurs, les chaudières et les collecteurs.

- **Volume du réseau de tuyauterie**

| Diamètre<br>Mm | Contenance en eau<br>L/m | Longueur totale<br>m | Volume<br>L |
|----------------|--------------------------|----------------------|-------------|
| 15             | 0.2011                   | 994.87               | 200.07      |
| 20             | 0.3664                   | 69                   | 25.28       |
| 26             | 0.5811                   | 101                  | 58.69       |
| 33             | 1,0122                   | 42                   | 42.51       |
| 80             | 5,3456                   | 70.29                | 375.74      |
|                |                          |                      | 702.29      |

Tableau 4.3 : Volume du réseau de la tuyauterie

- **Volume des radiateurs**

| Nombre d'éléments | Contenance en eau<br>L | Nombre d'unité | Volume<br>L |
|-------------------|------------------------|----------------|-------------|
| 7                 | 7.7                    | 35             | 269.5       |
| 8                 | 8.8                    | 6              | 52.8        |
| 9                 | 9.9                    | 21             | 207.9       |
| 10                | 10.1                   | 4              | 40.4        |
| 11                | 12.1                   | 51             | 617.1       |
| 12                | 13.2                   | 1              | 13.2        |
|                   |                        |                | 1200.9      |

Tableau 4.4: Volume des radiateurs.

- **Volume des chaudières et leurs collecteurs**

Chaudières :  $2 \times 681 = 1362$  L

Collecteurs :  $2 \times (S \times L) = 2 \times \{[(0.125^2 \times 3,14)/4] \times 5.532\} = 2 \times 67.85 \cdot 10^{-3} = 135.71$  L

Collecteur de pompes :  $4 \times 1.6 = 6.4$  L

Le volume total de l'installation est de 3407.3 L

La détermination du volume du vase d'expansion nécessite la connaissance du volume d'expansion donné par la relation suivante :

$$V_{exp} = V_{inst} \cdot \beta \quad (V.8)$$

$V_{exp}$  : volume d'expansion en litre.

$V_{inst}$  : volume total de l'installation.

$\beta$  : Coefficient de dilatation de l'eau en fonction de sa température moyenne  $\beta(80^\circ\text{C}) = 0.029$

$$V_{exp} = 3407.3 \cdot 0.029 = 98.81 \text{ L}$$

### V-6.2 La pression de gonflage

Il correspond à la hauteur statique de l'eau de chauffage (le radiateur le plus haut de l'installation), 1 bar est rajouté pour permettre les purges d'air (sécurité) on l'appellera  $P_1$

La hauteur statique égale à 15m  $\longrightarrow P_1 = 1.5 \text{ bar} + 1 \text{ bar (sécurité)} = 2.5 \text{ bar}$

### V-6.3 La pression de tarage

C'est la pression maximale pour laquelle la soupape de sécurité s'ouvre qu'on va appeler  $P_2$

$P_2 = 4 + 1(\text{sécurité}) = 5 \text{ bar}$ .

Le volume du vase se calcule à l'aide de la relation suivante :

$$V_{\text{tot}} = \frac{V_{\text{exp}}}{1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2} \quad (\text{IV.8})$$

#### Application :

$$V_{\text{tot}} = \frac{V_{\text{exp}}}{1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^2} = \frac{98.81}{1 - \frac{2.5}{5}} = 197.62 \text{ L}$$

Le volume minimal du vase est 197.62 L  $\rightleftharpoons$  Taille standard 200 L.

On choisira un vase d'expansion FLEXCON 200 (Annexe 5 ; Tableau A5.1), dont les caractéristiques sont :

Capacité : 200 L

Pression de gonflage : 1.5 bar

Pression de service maximale : 10 bar

## V-7. Exigences requises pour la qualité et le traitement de l'eau

### d'alimentation :

Le calcaire n'existe pas seulement sous forme de roches dans la nature mais on le trouve également dissout dans l'eau. Plus l'eau contient du calcaire, plus elle est dure. Cette dureté est mesurée en degrés ou titre hydrotimétrique (°H).

L'eau est un excellent solvant et moyen de transport. Dans la nature, elle coule sur les pierres, les galets et dans le sous sol, récupérant sur son passage des minéraux précieux comme le carbonate de calcium, plus connu sous le nom de calcaire.

Plus l'eau absorbe de calcaire, plus elle est dure. Ce qui n'altère toutefois pas sa qualité, bien au contraire, le goût n'en est que meilleur. Par contre, les problèmes peuvent survenir au niveau des installations domestiques : une eau contenant trop de calcaire perturbe le fonctionnement lorsqu'elle entre en contact avec des matières alcalines comme le savon ou lorsqu'elle se réchauffe ou s'évapore. Dans ces cas, le calcaire est précipité et forme du tartre. La plupart du temps, les composants concernés sont les générateurs de chaleur, les échangeurs thermiques, les chauffe-eau, les lave-linge, les pommeaux de douche et les conduites d'eau chaude.

Pour cette installation on va se limiter à un doseur anti tartre équipé d'une cartouche filtrante et d'une cartouche de cristaux de silico-polyphosphates à dilution lente, ce dispositif est efficace pour limiter les effets du tartre dans les canalisations, les appareils sanitaires et notamment les chauffe-eau instantanés très sensibles à l'entartrage.



Figure 4.3 : Image du doseur anti tartre à cristaux à double cartouche.

Source : [www.elyotherm.fr](http://www.elyotherm.fr)

**VI.1 Introduction :**

La lutte de l'homme pour se rendre maître du climat qui l'environne a commencé il y a fort longtemps ; déjà les hommes de la préhistoire utilisaient le feu pour produire la chaleur nécessaire à leur confort ; et depuis l'homme ne cesse d'essayer de vaincre le manque de son confort thermique en procédant à l'amélioration des moyens de chauffe.

En 1902, le conditionnement de l'air proprement dit a pris naissance sous l'impulsion de W.H.Carrier. Depuis lors, il est utilisé quasiment partout et couvre de nombreuses applications aussi bien industrielles que domestique.

**VI.2 Notions de conditionnement de l'air et de confort thermique :**

La création d'une atmosphère de confort thermique consiste à préparer de l'air en lui conférant une température, une humidité ainsi qu'un taux de ventilation adéquat pour assurer son bon renouvellement.

En règle générale, le premier facteur qui caractérise le conditionnement de l'air est sa température sèche, mais d'autres facteurs aussi importants interviennent tels que :

- Le degré d'humidité (l'abondance d'humidité ambiante crée une sensation de gêne et d'étouffement même si la température est modérée)
- Le mouvement de l'air : sa vitesse, sa direction et son renouvellement.
- La filtration et la purification.

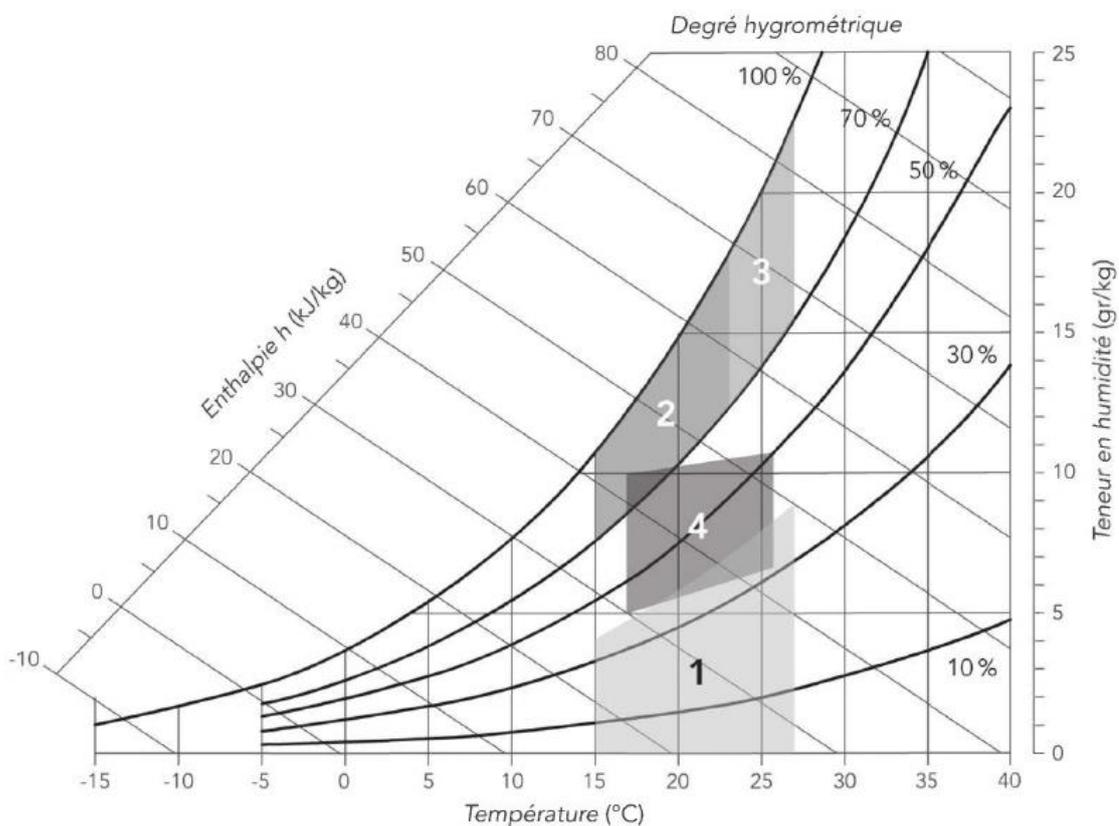
**VI.3 Zone de confort thermique :**

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est caractérisé par les six paramètres suivants :

- Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7 °C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
- L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
- La température ambiante de l'air  $T_g$ .
- La température moyenne des parois  $T_p$ .

- L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprime en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air a la température  $T_g$  et la quantité maximale d'eau contenue a la même température.
- La vitesse de l'air, qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s.

La sensation d'un confort thermique ne peut être éprouvée, par l'occupant, qu'avec une combinaison principalement entre la température et le degré hygrométrique. L'abaque présenté sur la figure (I.1), montre les limites de température et l'humidité en climatisation de confort. On choisit les températures et l'humidité dans les zones (1 et 2).



**Figure (I-1) :** Les plages de confort hygrométrique

- 1 : Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
- 2 et 3 : Zone à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.
- 3 : Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
- 4 : Polygone de confort hygrothermique.

**VI.4 Types d'installations de conditionnement de l'air :**

On distingue deux types d'installations : les installations centralisées et les installations individuelles ou décentralisées.

**VI.4.1 Installations centralisées :**

En plus des appareils générateurs de chaleur ou de froid, ce type d'installations comportent un réseau de distribution qui permet de véhiculer de la chaleur ou du froid par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur vers les unités terminales se trouvant dans les différents locaux desservis par l'installation et au niveau desquelles s'effectue un échange de chaleur ou du froid avec l'air ambiant, on trouve aussi des appareils mécaniques (pompes ; ventilateurs ; etc.....) qui accélèrent la circulation du fluide caloporteur.

**VI.4.2 Installations individuelles :**

Dans ce type d'installation, il n'existe pas de réseau de distribution, seuls les appareils générateurs de chaleur ou de froid sont utilisés afin de satisfaire les besoins en chauffage ou en fraîcheur des locaux à conditionner.

On choisit le premier type d'installation en raison de son coût de revient moins élevé et sa grande autonomie de contrôle et régulation par rapport au deuxième.

**VI.5 choix de l'installation de conditionnement de l'air :**

Comme, il nous a été préconisé dans le cahier de charges, l'installation de chauffage et de climatisation comporte :

- Deux chaudières.
- Un groupe à eau glacée.

Ces appareils seront placés à l'extérieur du bâtiment.

- Une conduite d'alimentation en eau chaude sanitaire.
- Un robinet de commutation hiver-été.

La distribution de la chaleur ou du froid à l'intérieur des locaux se fait par l'intermédiaire des unités terminales, alimentées par de l'eau chaude ou froide selon les saisons.

**VI.6 Chauffage et climatisation par ventilo-convecteurs :**

Un ventilo convecteur l'unité terminale au niveau de laquelle d'effectue un changement de chaleur ou du froid avec l'ambiance intérieur par convection pure.

**VI.6.1 Types des ventilo-convecteurs :**

Les ventilo-convecteurs présents sur le marché sont :

- Les ventilo-convecteurs en allège qui sont installés, contre une paroi extérieure de façon à admettre dans le caisson de mélange une certaine quantité d'air neuf extérieur.
- Les ventilo-convecteurs plafonniers qui sont dissimulés dans les faux plafonds (comme dans notre cas).
- Les ventilo-convecteurs verticaux qui sont incorporés dans un habillage dans le local à climatisé.

**VI.6.2 Description :**

Tous les types de ventilo-convecteurs comportent :

- Un orifice de soufflage qui assure la diffusion de l'air.
- Un orifice de reprise de l'air.
- Une trappe permettant l'accès au tableau de commande de l'appareil (commutateur de vitesse des ventilateurs, thermostat, etc.....).
- Les orifices de raccordement au réseau hydraulique.
- Des fils de branchement électrique.
- Des filtres à air pour éviter l'entrée des poussières dans les locaux.
- Un conduit d'amenée d'air extérieur.
- Un ou plusieurs ventilateurs entraînés par un seul moteur électrique.
- Une ou deux batteries pour le réchauffage ou le refroidissement de l'air neuf ou mélangé.
- Un bac de récupération de condensat.

**VI.6.3 Avantages et inconvénients des ventilo-convecteurs :**

Les avantages des ventilo-convecteurs sont :

- Simplicité de pose et des raccordements.
- Fonctionnement silencieux.
- Grande autonomie de fonctionnement.
- Entretien simple et peu coûteux.
- Ventilation assurée en toute saison.
- Un ventilo-convecteur peut assurer :
  - Filtration de l'air neuf admis dans le local.
  - Chauffage ou rafraîchissement de l'air neuf ou mélangé.
  - Soufflage dans le local de l'air neuf ou mélangé.

Le seul inconvénient est l'impossibilité de contrôler efficacement l'humidité ambiante surtout pour le modèle à une seule batterie assurant le chauffage et le refroidissement.

### VII.1 Introduction :

L'objectif d'une installation de chauffage se limite au chauffage des pièces en hiver, celui de la ventilation et de climatisation de l'air est bien plus ambitieux de maîtriser l'air ambiant, notamment en ce qui concerne sa température, son humidité et sa qualité.

La ventilation et la climatisation permettent d'obtenir le climat intérieur souhaité. Selon les exigences, une ou plusieurs des tâches suivantes doivent être accomplies :

Alimentation en air extérieur : dans les pièces de séjour, l'air expiré enrichi en CO<sub>2</sub> par les personnes doit être renouvelé avec de l'air neuf.

Evacuation des charges thermiques : afin de maîtriser la température ambiante, les charges thermiques du local (chauffage et refroidissement) doivent être éliminées. A cet effet, il convient d'alimenter le local en air chaud ou froid selon le cas.

Evacuation des charges humides : afin de maîtriser l'humidité de l'air ambiant, le local doit être alimenté en air humidifié ou déshumidifié, selon qu'il y trouve des sources d'humidité ou de déshumidification.

Maîtrise de la qualité de l'air : afin de maîtriser les concentrations autorisées en agent contaminants des locaux. L'air contaminé doit être remplacé par de l'air pur. On entend par agents contaminants toute substance ayant des conséquences nuisibles.

Maîtrise d'une pression de sécurité dans un local : afin d'empêcher un échange non voulu de masses d'air avec l'environnement, un local doit être, selon le cas, maintenu en surpression ou bien en dépression. A cet effet, le taux de circulation des masses d'air alimentant le local ou évacuées de ce dernier doit être paramétré de façon plus ou moins grande.

### VII.2 Classification :

La désignation d'installation de ventilation et climatisation vient d'une part de la fonction de ventilation, si l'air qui est traité vient de l'extérieur (installation avec fonction de ventilation) ou bien de l'air ambiant (installation sans fonction de climatisation) et d'autre part du nombre de fonctions thermodynamiques de traitement de l'air. Il existe quatre fonctions thermodynamiques de traitement de l'air : chauffage (Ch), refroidissement (R), humidification (H) et déshumidification (D). Les installations de ventilation ou de recyclage d'air possèdent soit une fonction thermodynamique, soit aucune, les installations de climatisation partielle ou de climatisation partielle d'air recyclé en possèdent deux ou trois et les installations de climatisation ou de conditionnement d'air total possèdent quatre fonctions thermodynamiques de traitement de l'air. On distingue par ailleurs l'air neuf (AN), l'air rejeté (AJ), l'air recyclé (AC) et l'air mélangé (AM). L'air mélangé est composé d'air neuf et d'air recyclé. Les dénominations détaillées sont expliquées dans le tableau :

**Tableau VII.1 :** classification des installations de ventilation et climatisation selon leur fonction de ventilation, de leurs fonctions thermodynamiques et du type d'air

| Fonctions thermodynamiques de traitement de l'air |                                             | Installation de ventilation, climatisation, conditionnement |                                                                |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Nombre                                            | type                                        | Avec fonction de ventilation                                | Sans fonction de ventilation                                   |
| Aucune                                            |                                             | Installation de ventilation<br>AN, AM ou AR                 | Installation à air recyclé<br>AC                               |
| Une                                               | Ch<br>R<br>H<br>D                           | Installation de ventilation<br>AN ou AM                     | Installation à air recyclé<br>AC                               |
| Deux                                              | Ch, R                                       | Installation de climatisation<br>Partielle<br>AN ou AM      | Installation de climatisation<br>partielle à air recyclé<br>AC |
| Trois                                             | Ch, R, H<br>Ch, R, D<br>Ch, H, D<br>R, H, D | Installation de climatisation<br>Partielle<br>AN ou AM      | Installation de climatisation<br>partielle à air recyclé<br>AC |
| Quatre                                            | Ch, R, H, D                                 | Installation de climatisation<br>Totale<br>AN ou AM         | Installation de climatisation<br>totale à air recyclé<br>AC    |

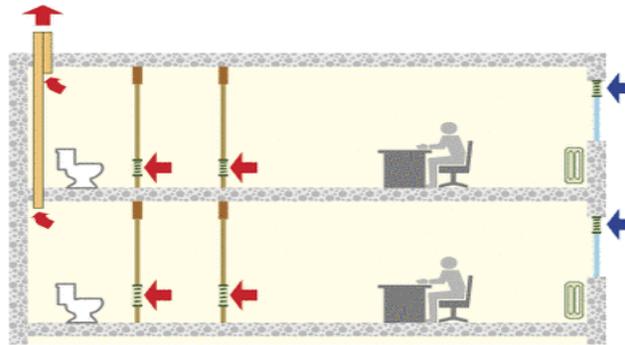
Exemple : ChRHD-AM = installation de climatisation avec fonction de ventilation et les fonctions thermodynamiques de chauffage, refroidissement, humidification, déshumidification et avec de l'air mélangé (air extérieur et air recyclé)

### VII.2.1 Classification de la ventilation :

#### a) ventilation naturelle :

On entend par ventilation naturelle, par opposition à la ventilation contrôlée réalisée par des ventilateurs mécaniques, le renouvellement de l'air généré par la force ascensionnelle naturelle de l'air lors de différences de température ou bien par l'effet du vent. Le calcul et la mesure de ce renouvellement d'air sont difficiles à effectuer. La plupart des méthodes de mesure consistent à mélanger à l'air ambiant des gaz comme le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), l'hélium (He) ou l'oxygène (O<sub>2</sub>) et ensuite à quantifier la diminution de leur concentration avec le temps afin d'obtenir le taux de renouvellement d'air. Il est impossible de récupérer de la chaleur.

Et la figure suivante montre un exemple de ventilation naturelle :



*Figure VII.1 : ventilation naturelle*

### b) ventilation mécanique ou forcée :

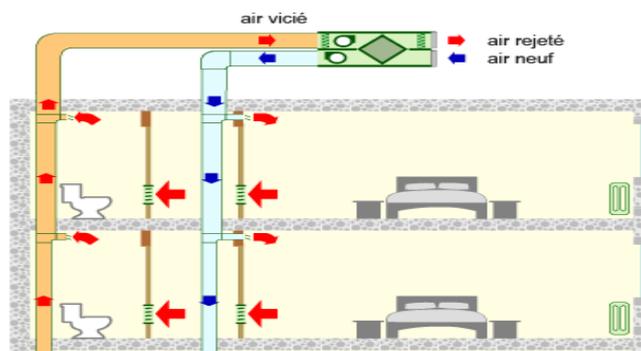
L'aération est réalisée par des dispositifs de ventilation mécanique, ces dispositifs permettent d'assurer en permanence des débits d'air neuf minimaux par occupant, Ce système est pratiquement indispensable dans les immeubles importants en site urbain.

La distribution de l'air neuf est assurée par un réseau de conduits placé dans les faux plafonds des zones de circulation.

La diffusion de l'air neuf à l'intérieur de chaque chambre est obtenue par une grille murale placée au niveau de la retombée des faux plafonds des circulations, ou dans le cas de grandes chambres communes par des diffuseurs plafonniers répartis sur la surface du dortoir.

Concrètement, le choix de ce système sera guidé par :

- le souhait de garantir une répartition correcte des flux d'air,
- le besoin de se protéger de l'ambiance extérieure (bruit et pollution),
- le besoin de préchauffer ou d'humidifier l'air neuf.



*Figure VII.2 : Ventilation des locaux d'habitation par ventilation double flux (système D)*

## VII.2.2 Application au projet d'étude :

Dans notre cas on a une situation différente car le système de climatisation est divisé en deux catégories :

### 1<sup>er</sup> cas : (la ventilation)

Les chambres de l'hôtel vont être chauffées par des émetteurs de chaleurs (radiateurs) tandis que la ventilation hygiénique sera assurée par la centrale de traitement d'air neuf (CTAN) et par l'intermédiaire des ventilo-convecteurs dans le but de renouveler l'air hygiénique et extraire les impuretés de l'air que ça soit les odeurs non désirées ou les nuisances qui occupent les chambres et combiner tout ça avec les besoins hygrométriques.

Une ventilation hygiénique de base est nécessaire pour assurer la bonne qualité de l'air des bâtiments et garantir la santé des occupants. Pour évacuer efficacement les polluants (CO<sub>2</sub>, fumée de tabac, humidité, ...) présents dans l'air intérieur, il faut assurer un renouvellement de l'air du local suffisant. Ce renouvellement de l'air recommandé ne pourra se faire que :

- en mettant en place ou en favorisant un moteur de déplacement d'air pour mettre l'air en mouvement;
- en évitant tout obstacle à son déplacement et en créant un chemin libre pour sa circulation;
- en régulant la quantité d'air qui se déplace dans le bâtiment.

### VII.2.2.1 La ventilation de base :

C'est la ventilation nécessaire pour les locaux d'habitation dans des circonstances normales, avec des débits d'air suffisants pour assurer une bonne qualité de l'air intérieur.

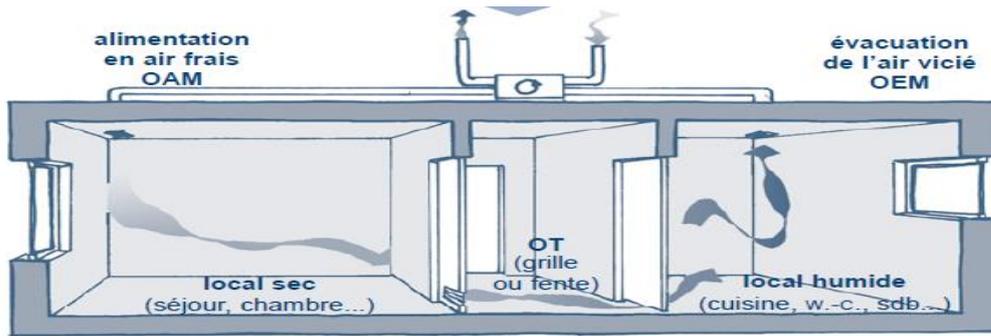
#### ➤ **Système de ventilation idéale :**

La ventilation de chaque local est indépendante vis-à-vis des autres locaux de l'habitation.

Un système de ventilation idéal ne peut être réalisé qu'au moyen d'une ventilation mécanique.

L'air de ventilation doit pouvoir circuler librement des locaux "secs" vers les locaux "humides" au travers d'ouvertures de transfert pratiquées dans les portes ou parois intérieures.

Le transfert de l'air se fait toujours par le jeu des dépressions entre les locaux, la figure (IV.3) montre le principe de fonctionnement :



FigVI.3 : ventilation idéale

**VII.2.2.2 Les débits de ventilation de base selon la norme NBN D50-001 :**

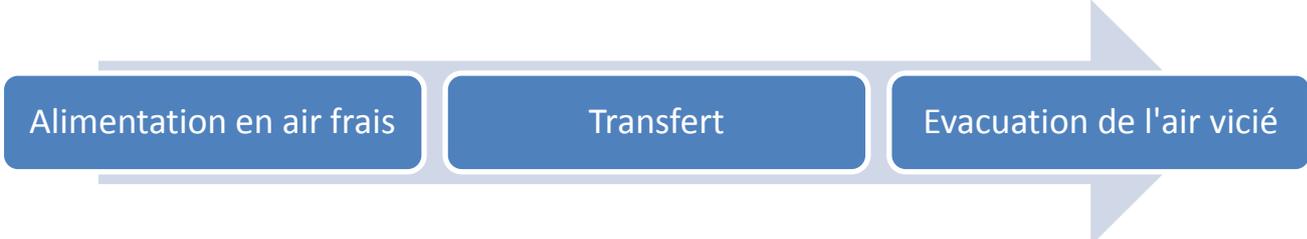
Le dimensionnement de la ventilation de base se calcule sur base des débits nominaux. Afin d’assurer une ventilation de base, un débit de **3,6 m³/h par m² de surface au sol S** est nécessaire.

Le **débit nominal**  $q_N$  d’un local sera ainsi défini par la formule :

$$q_N = 3,6 \left[ \frac{m^3}{h} \right] \times S [m^2] \tag{VII.1}$$

Le débit nominal doit respecter les limites suivantes (voir tableau ci-dessous):

- Débit minimum: il doit toujours pouvoir être réalisé au minimum.
- Débit maximum: on peut se limiter à ce débit mais ce n’est pas une obligation.

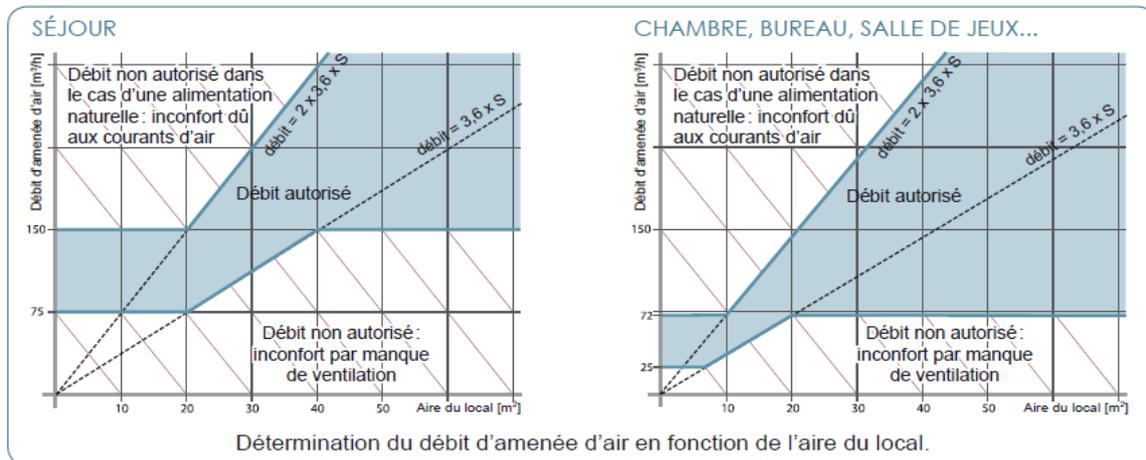


|               | Locaux secs                 |                                         | Ouvertures de transfert                                                             | Locaux humides  |                                |         |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------|---------|
|               | séjour                      | Chambres, bureau, salle de jeux         |                                                                                     | Cuisine ouverte | Cuisine fermée, SDB, Buanderie | WC      |
| Débit minimum | 75 m³/h                     | 25 m³/h                                 | Débit minimum ou section libre <sup>(1)</sup> :<br>25 m³/h ou 70 cm² <sup>(2)</sup> | 75 m³/h         | 50 m³/h                        | 25 m³/h |
| Débit maximum | 150 m³/h ou 2q <sub>N</sub> | 36 m³/h par personne ou 2q <sub>N</sub> | Pour cuisine fermée :<br>50 m³/h ou 140 cm² <sup>(3)</sup>                          | Pas de limite   | 75 m³/h                        | 25 m³/h |

(1) Il s'agit de la section libre des ouvertures de transfert lorsqu'elles sont constituées de fentes sous les portes.

(2) En approximation: 70 cm<sup>2</sup> correspond à une fente de 1 cm de haut pour une porte de 70 cm de large.

(3) En approximation: 140 cm<sup>2</sup> correspond à une fente de 2 cm de haut pour une porte de 70 cm de large.



*Figure VII.4 : nomogrammes de détermination du débit volume d'air et du taux de Renouvellement de l'air.*

### VII.2.2.3 Choisir quel débit :

D'après la norme NBN EN 13779 et l'annexe PEB (performance énergétique des bâtiments) on a 3 types d'espaces :

- **Espaces destinés à l'occupation humaine**

Espaces prévus pour laisser séjourner des personnes pendant un temps plus long (...). Exemples : bureaux, restaurants, chambres d'hôtel....

- **Espaces non destinés à l'occupation humaine**

Espaces prévus pour séjour de personnes, et utilisation normale pendant un temps relativement court (...). Exemples : archives, stockage, W.C....

- **Espaces spéciaux (AnVII-§6.4.)**

Par espaces spéciaux, nous entendons des espaces exposés (à risque) à des polluants spécifiques pour lesquels d'autres exigences (spécifiques et/ou formelles) prévalent en ce qui concerne la ventilation. Exemples : chaufferie, locaux stockage des ordures...

➤ **Espaces destinés à l'occupation humaine**

**Tableau VII.2:** débit d'air neuf nécessaire dans les locaux destinés à l'occupation humaine

| Classe<br>Qualité de l'air | Débit de l'air neuf          |                               | Niveau de CO <sub>2</sub> dans les locaux |                   |
|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|
|                            | Zone non fumeur              | Zone fumeur                   | Plage type                                | Valeur par défaut |
| IDA1<br>Excellente qualité | > 54 m <sup>3</sup> /h.pers  | > 108 m <sup>3</sup> /h.pers  | < 400 ppm                                 | 350 ppm           |
| IDA2<br>Moyenne qualité    | 36-54 m <sup>3</sup> /h.pers | 72-108 m <sup>3</sup> /h.pers | 400-600 ppm                               | 500 ppm           |
| IDA3<br>Qualité acceptable | 22-36 m <sup>3</sup> /h.pers | 43-72 m <sup>3</sup> /h.pers  | 600-1000 ppm                              | 800 ppm           |
| IDA4<br>Faible qualité     | < 22 m <sup>3</sup> /h.pers. | <43 m <sup>3</sup> /h.pers    | > 1000 ppm                                | 1200 ppm          |

Nota : Valeur MAK 2001 (concentration maximale de substances nocives sur le lieu de travail, sélection)

Conversion pour 1 ppm parties par million) : 1 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> (volume molaire/volume molaire mg/m<sup>3</sup>)

➤ **Espaces non destinés à l'occupation humaine**

- **Sanitaires**

Le nombre de wc et urinoirs est connu débit : 25 m<sup>3</sup>/h par wc ou urinoir

Le nombre de wc et urinoirs n'est pas connu débit : 15 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>

- **Douches**

Débit : 50 m<sup>3</sup>/h par douche

- **Autres locaux non occupés**

Débit : 1,3 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>

### VII.2.3 Ventilation des sanitaires :

Ce type d'installation assure le renouvellement d'air et en même temps est chargé d'éliminer ou tout au moins de réduire le plus possible les odeurs plus ou moins nauséabondes qui se développent dans les sanitaires ;

Leur fonctionnement se fait tout en air neuf dans la plupart des cas ;

La désodorisation ne constitue bien entendu en aucun cas une fonction thermodynamique.

### VII.2.3.1 Appareils d'extractions :

Les ventilateurs de reprise sont disposés dans des caissons d'une part pour des raisons de sécurité et d'autre part afin d'avoir des raccordements en aspiration et au refoulement plus confortables. Ces unités sont appelées *unités d'extractions*. Leur débit volume d'air peut atteindre 100000 m<sup>3</sup>/h.

Les caissons sont carrés ou rectangulaires et accessibles par des portes ou clapets.

Les possibilités de raccordement pour la conduite en aspiration et au refoulement sont très variées.

- **Ventilateurs de toiture :**

Les ventilateurs de toiture représentent la forme la plus simple de la ventilation mécanique et souvent sont utilisés dans les usines, notamment dans les usines à fort dégagement de chaleur comme les fonderies, aciéries, etc. ainsi que pour le désenfumage. Ils peuvent également servir de ventilation de toilettes ou de cuisine. Leur implantation est située sur le toit. L'alimentation en air a lieu par les portes et les fenêtres en été ou bien par une installation de ventilation mécanique en hiver (notre cas), ce qui encore meilleur. Il faut prêter une attention particulière au bruit, en particulier pour le voisinage.

Les composants sont :

- Une carrosserie en tôle d'acier capot par-pluie anticorrosif en matière plastique.
- Un ventilateur centrifuge ou hélicoïde avec moteur.
- Un clapet de fermeture automatique ouvert par la vanne d'air ou par un servomoteur.

L'inconvénient est qu'il n'est pas possible de modifier le débit volume en raison de l'entraînement direct du moteur. Ces appareils sont souvent bruyants.



**Figure VII.5 : Tourelle**

Ces tourelles placées à l'extérieur, en toiture même inclinée, sont destinées soit à limiter la pollution ambiante soit à évacuer d'importantes quantités de chaleur, Soit les deux à la fois.

L'introduction d'air a lieu en été par les portes et les fenêtres, ou mieux encore, surtout en hiver, est assurée par une installation d'insufflation mécanique

Ces tourelles se composent :

- D'une carrosserie en tôle d'acier avec capot pare pluie anticorrosif ou encore en matière plastique,
- D'un ventilateur centrifuge ou hélicoïde avec son moteur,
- D'un clapet de fermeture automatique dont l'ouverture est assurée par l'écoulement de l'air ou commandée par servomoteur.

#### ➤ **Application au projet d'étude :**

Pour nous (les quatre étages) on a opté pour une qualité de ventilation acceptable zone fumeur (IDA3) la valeur est sise entre 43 et 72 m<sup>3</sup>/h par personne et la valeur prise sera 60 m<sup>3</sup>/h.pers,

Les valeurs prises seront présentées dans les tableaux suivants, ceci est un récapitulatif de la ventilation des quatre étages de l'hôtel séparément (aile ouest et est)

Tableau VII.3 : débit totale de ventilation du 1<sup>er</sup> étage aile est

| N°<br>Local<br>Chambres<br>Aile est             | Surface du<br>plancher (m <sup>2</sup> ) | Nombre de<br>personne | Débit d'air soufflé<br>(m <sup>3</sup> /h) | Débit d'air extrait<br>(m <sup>3</sup> /h) |    |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----|
|                                                 |                                          |                       |                                            | SDB                                        | WC |
| Service<br>chambre                              | 10,99                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Ch 01                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 02                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 03                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 04                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 05                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 06                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 07                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 08                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 09                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Service<br>chambre                              | 8,28                                     | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Service<br>chambre                              | 3,23                                     | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Service<br>chambre                              | 11,58                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Chambre<br>handicapé                            | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 10                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 11                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 12                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 13                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 14                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 15                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 16                                           | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Service<br>chambre                              | 10,99                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| <b>Le débit total soufflé (m<sup>3</sup>/h)</b> |                                          |                       | <b>2220</b>                                | <b>1200</b>                                |    |

**Tableau VII.4** : Le débit total de ventilation du 1<sup>er</sup> étage aile ouest

| N°<br>Local<br><br>Chambres<br>Aile est | Surface du<br>plancher (m <sup>2</sup> ) | Nombre de<br>personne | Débit d'air soufflé<br>(m <sup>3</sup> /h) | Débit d'air extrait<br>(m <sup>3</sup> /h) |    |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----|
|                                         |                                          |                       |                                            | SDB                                        | WC |
| Ch 01                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 02                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 03                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 04                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 05                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 06                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 07                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 08                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 09                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 10                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 11                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 12                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 13                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 14                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 15                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 16                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 17                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 18                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 19                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 20                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 21                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 22                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| <b>Le débit total (m<sup>3</sup>/h)</b> |                                          |                       | <b>2640</b>                                | <b>1650</b>                                |    |

**Tableau VII.5 :** Le débit total de ventilation du 2<sup>ème</sup> étage aile est

| N°<br>Local<br>Chambres<br>Aile est     | Surface du<br>plancher (m <sup>2</sup> ) | Nombre de<br>personne | Débit d'air soufflé<br>(m <sup>3</sup> /h) | Débit d'air extrait<br>(m <sup>3</sup> /h) |    |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----|
|                                         |                                          |                       |                                            | SDB                                        | WC |
| Service<br>chambre                      | 10,99                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Ch 01                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 02                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 03                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 04                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 05                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 06                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 07                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 08                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 09                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Service<br>chambre                      | 8,28                                     | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Service<br>chambre                      | 3,23                                     | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Service<br>chambre                      | 11,58                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Chambre<br>handicapé                    | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 10                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 11                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 12                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 13                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 14                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 15                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 16                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Service<br>chambre                      | 10,99                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| <b>Le débit total (m<sup>3</sup>/h)</b> |                                          |                       | <b>2220</b>                                | <b>1200</b>                                |    |

**Tableau VII.6 :** Le débit total de ventilation du 2<sup>ème</sup> étage aile ouest

| N°<br>Local<br><br>Chambres<br>Aile est | Surface du<br>plancher (m <sup>2</sup> ) | Nombre de<br>personne | Débit d'air soufflé<br>(m <sup>3</sup> /h) | Débit d'air extrait<br>(m <sup>3</sup> /h) |    |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----|
|                                         |                                          |                       |                                            | SDB                                        | WC |
| Ch 01                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 02                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 03                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 04                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 05                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 06                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 07                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 08                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 09                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 10                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 11                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 12                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 13                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 14                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 15                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 16                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 17                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 18                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 19                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 20                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 21                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 22                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| <b>Le débit total (m<sup>3</sup>/h)</b> |                                          |                       | <b>2640</b>                                | <b>1650</b>                                |    |

**Tableau VII.7 :** Le débit total de ventilation du 3<sup>ème</sup> étage aile est

| N°<br>Local<br>Chambres<br>Aile est     | Surface du<br>plancher (m <sup>2</sup> ) | Nombre de<br>personne | Débit d'air soufflé<br>(m <sup>3</sup> /h) | Débit d'air extrait<br>(m <sup>3</sup> /h) |    |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----|
|                                         |                                          |                       |                                            | SDB                                        | WC |
| Service<br>chambre                      | 10,99                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Ch 01                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 02                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 03                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 04                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 05                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 06                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 07                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 08                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 09                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Service<br>chambre                      | 8,28                                     | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Service<br>chambre                      | 3,23                                     | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Service<br>chambre                      | 11,58                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Chambre<br>handicapé                    | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 10                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 11                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 12                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 13                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 14                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 15                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 16                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Service<br>chambre                      | 10,99                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| <b>Le débit total (m<sup>3</sup>/h)</b> |                                          |                       | <b>2220</b>                                | <b>1200</b>                                |    |

**Tableau VII.8 :** Le débit total de ventilation du 3<sup>ème</sup> étage aile ouest

| N°<br>Local<br><br>Chambres<br>Aile est | Surface du<br>plancher (m <sup>2</sup> ) | Nombre de<br>personne | Débit d'air<br>soufflé<br><br>(m <sup>3</sup> /h) | Débit d'air extrait<br>(m <sup>3</sup> /h) |    |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|----|
|                                         |                                          |                       |                                                   | SDB                                        | WC |
| Ch 01                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 02                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 03                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 04                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 05                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 06                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 07                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 08                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 09                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 10                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 11                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 12                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 13                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 14                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 15                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 16                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 17                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 18                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 19                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 20                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 21                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| Ch 22                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                               | 50                                         | 25 |
| <b>Le débit total (m<sup>3</sup>/h)</b> |                                          |                       | <b>2640</b>                                       | <b>1650</b>                                |    |

**Tableau VII.9** : Le débit total de ventilation du 4<sup>ème</sup> étage aile est

| N°<br>Local<br>Chambres<br>Aile est     | Surface du<br>plancher (m <sup>2</sup> ) | Nombre de<br>personne | Débit d'air soufflé<br>(m <sup>3</sup> /h) | Débit d'air extrait<br>(m <sup>3</sup> /h) |    |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----|
|                                         |                                          |                       |                                            | SDB                                        | WC |
| Service<br>chambre                      | 10,99                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Ch 01                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 02                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 03                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 04                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 05                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 06                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 07                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 08                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 09                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Service<br>chambre                      | 8,28                                     | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Service<br>chambre                      | 3,23                                     | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Service<br>chambre                      | 11,58                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| Chambre<br>handicapé                    | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 10                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 11                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 12                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 13                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 14                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 15                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 16                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Service<br>chambre                      | 10,99                                    | 01                    | 60                                         |                                            |    |
| <b>Le débit total (m<sup>3</sup>/h)</b> |                                          |                       | <b>2220</b>                                | <b>1200</b>                                |    |

**Tableau VII.10** : Le débit total de ventilation du 4<sup>ème</sup> étage aile ouest

| N°<br>Local<br><br>Chambres<br>Aile est | Surface du<br>plancher (m <sup>2</sup> ) | Nombre de<br>personne | Débit d'air soufflé<br>(m <sup>3</sup> /h) | Débit d'air extrait<br>(m <sup>3</sup> /h) |    |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----|
|                                         |                                          |                       |                                            | SDB                                        | WC |
| Suite<br>Ch 01                          | 31,37                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Suite<br>Ch 02                          | 31,37                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Suite<br>Ch 03                          | 31,37                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Suite<br>Ch 04                          | 31,37                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Suite<br>Ch 05                          | 31,37                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Suite<br>Ch 06                          | 31,37                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Suite<br>Ch 07                          | 31,37                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Suite<br>Ch 08                          | 31,37                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Suite<br>Ch 09                          | 31,37                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Suite<br>Ch 10                          | 31,37                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 11                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| Ch 12                                   | 15,38                                    | 02                    | 120                                        | 50                                         | 25 |
| <b>Le débit total (m<sup>3</sup>/h)</b> |                                          |                       | <b>1440</b>                                | <b>900</b>                                 |    |

Le débit total des chambres sera représenté dans le tableau suivant :

**Tableau VII.11** : le débit total des chambres

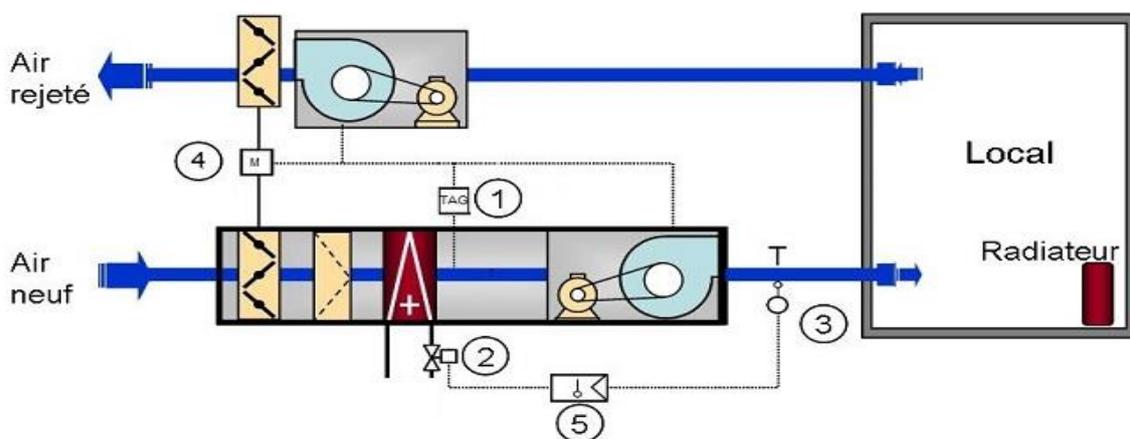
|                       | Débit d'air soufflé    | Débit d'air extrait    |
|-----------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Chambres est</b>   | 8880 m <sup>3</sup> /h | 4800 m <sup>3</sup> /h |
| <b>Chambres ouest</b> | 9360 m <sup>3</sup> /h | 5850 m <sup>3</sup> /h |

### VII.3 La CTAN (centrale de traitement de l'air neuf) :

La centrale de traitement d'air neuf est une appareille montée sous forme de module en usine. Lorsque les différents composants sont disposés dans des caissons et montés sur le chantier, on parle alors de centrales modulaires de chambre. Elle comporte dans une enveloppe en tôle d'acier les modules nécessaires au traitement de l'air comme : des ventilateurs avec moteur, des batteries de chauffage, des filtres, des régulateurs, des commutateurs et d'autres accessoires. Elle est prévue pour des débits volumes allant jusqu'à 10000 m<sup>3</sup>/h. l'accès aux différents éléments s'effectue en règle générale par des portes.

La centrale **n'assure que l'aération** (et ne participe pas au chauffage des locaux), la vanne de régulation est pilotée par un régulateur **en contrôle d'une température de soufflage fixe** de l'ordre de 16 [°C].

Ce principe de régulation est le plus simple et le plus courant. Le chauffage est par ailleurs assuré par un système décentralisé, radiateurs, convecteurs etc.



*Figure VI.5 : résumé d'une installation de ventilation par soufflage et extraction*

- 1 : Thermostat antigel
- 2 : Vanne à deux voies
- 3 : Sonde de température au soufflage
- 4 : Servomoteur des registres
- 5 : Régulateur

#### VII.4 Préchauffage de l'air neuf :

Il est évident que l'amenée d'air à basse température dans un local peut provoquer, dans certains cas, des situations inconfortables. Quelque soit la température de l'air, des recommandations existent pour limiter ce risque, telles que placer les grilles à plus de 1,8 m de haut et au-dessus des émetteurs de chaleur.

Dans les cas où le débit d'air neuf demandé est relativement bas, ces recommandations peuvent suffire à éviter les inconforts assez bas, même dans le cas d'une ventilation avec amenée d'air naturelle. Au contraire, dans les locaux à forte densité d'occupation (salle de réunion, de séminaire, ...), l'importance des débits d'air neuf demandés risque de provoquer un certain inconfort thermique lorsque la température extérieure est basse. Ainsi, dans tous les cas, pour éviter la sensation de courant d'air froid, l'idéal est de pouvoir amener l'air neuf à une température minimum (12.. 16°C, température à régler en fonction des apports de chaleur gratuits) avant son arrivée dans le local. Dans le cas d'une pulsion mécanique, le préchauffage de l'air neuf a également pour but d'éviter de faire circuler de l'air trop froid dans les conduits, ce qui peut provoquer des condensations, différentes solutions existent pour réaliser le préchauffage de l'air. La solution évidente pour réaliser cet échauffement est le recours à un récupérateur de chaleur. Attention toutefois à choisir un mode de gestion du dégivrage du récupérateur qui permette de maintenir une température de pulsion suffisamment élevée à tout moment.

Dans la configuration "ventilation pure", un préchauffage de l'air neuf en hiver (au moyen d'une batterie à eau chaude ou d'une batterie électrique) est presque indispensable pour rapprocher la température de l'air soufflé de la température ambiante et éviter toute sensation de courant d'air. Dans ce cas, la ventilation et chauffage du local sont dissociés et régulés tout à fait distinctement. Ceci est logique puisque le débit d'air neuf hygiénique est souvent beaucoup plus faible que le débit nécessaire pour transporter de la chaleur et du froid. Pour assurer simultanément la ventilation et le chauffage (ou le refroidissement), il faut donc surdimensionner les équipements nécessaires au transport de l'air et un recyclage partiel de l'air doit dès lors être organisé.

### VII.5 Humidificateur de l'air :

En hiver, sans humidification de l'air neuf, l'humidité intérieure flirte rapidement avec les limites de confort thermique.

Ceci n'est pas lié au type de ventilation (naturel ou mécanique). Pourquoi ? Parce que, en l'absence de traitement d'air, l'humidité absolue de l'air pulsé n'est pas modifiée par son passage dans un aérateur ou un réseau de ventilation. Dans les deux cas, cette humidité sera celle de l'air extérieur, qui est basse en hiver (maximum 4 gr d'eau par kilo d'air à 0°C, soit en-dessous des 6 gr qui correspondent à 40% d'humidité pour 20°C). Le caractère asséchant de la ventilation est par contre lié au rapport entre le débit d'air neuf et le taux d'émission de vapeur dans l'ambiance, lié à l'occupation. En pratique, au plus le débit par personne sera élevé, au plus l'effet asséchant de l'air neuf sera important.

L'humidification de l'air neuf est un poste particulièrement énergivore. Il est dès lors peut-être utile de se demander si une humidification est toujours nécessaire, sachant qu'elle n'est pratiquement possible qu'en association avec un système de ventilation double flux.

#### VII.5.1 Application en saison hivernale :

##### a. Conditions intérieures de base (chauffage avec radiateur) :

- Température intérieure :  $T_i = 20 \text{ °C}$
- Humidité relative intérieure :  $\varphi_i = 32 \%$
- Teneur en eau intérieure :  $X_i = 0.0046 \text{ kge/kgas}$
- Enthalpie spécifique intérieure :  $h_i = 31 \text{ kJ/kgas}$
- Volume spécifique intérieur :  $v_i = 0.836 \text{ m}^3/\text{kgas}$

##### b. Conditions extérieures de base :

- Température extérieure :  $T_e = 6 \text{ °C}$
- Humidité relative extérieure :  $\varphi_e = 80 \%$
- Teneur en eau extérieure :  $X_e = 0.0045 \text{ kge/kgas}$
- Enthalpie spécifique extérieure :  $h_e = 17.5 \text{ kJ/kgas}$
- Volume spécifique extérieur :  $v_e = 0.796 \text{ m}^3/\text{kgas}$

##### c. Conditions de soufflage de base de l'air avec ventilation (CTAN) :

Ces conditions on les tire en s'appuyant su la température du préchauffage de l'air qu'on a imposé et qui est 16 °C :

- Température de soufflage :  $T_s = 16 \text{ °C}$
- Humidité relative de soufflage :  $\varphi_s = 40\%$
- Teneur en eau de soufflage :  $X_s = 0.0045 \text{ kge/kgas}$
- Enthalpie spécifique de soufflage :  $h_s = 27 \text{ kJ/kgas}$
- Volume spécifique de soufflage :  $v_s = 0.824 \text{ m}^3/\text{kgas}$

Pour amené l'air a l'intérieur des locaux a 50% de HR on devra humidifier l'air a l'aide d'un humidificateur en lui apportant de la chaleur latente de cette manière on obtient du diagramme de l'air humide les caractéristiques suivantes :

**a. Conditions de soufflage:**

- Température de soufflage :  $T_s = 16 \text{ °C}$
- Humidité relative de soufflage :  $\varphi_s = 64\%$
- Teneur en eau de soufflage :  $X_s = 0.0072 \text{ kge/kgas}$
- Enthalpie spécifique de soufflage :  $h_s = 34 \text{ kJ/kgas}$
- Volume spécifique de soufflage :  $v_s = 0.828 \text{ m}^3/\text{kgas}$

**b. Conditions intérieur :**

- Température intérieure :  $T_i = 20 \text{ °C}$
- Humidité relative intérieure :  $\varphi_i = 50 \%$
- Teneur en eau intérieure :  $X_i = 0.0072 \text{ kge/kgas}$
- Enthalpie spécifique intérieure :  $h_i = 38 \text{ kJ/kgas}$
- Volume spécifique intérieur :  $v_i = 0.84 \text{ m}^3/\text{kgas}$

➤ **Exemple de calcul :**

- **Débit d'air soufflé**

$$q_{vas} = 8880 \text{ m}^3/\text{h}$$

On en déduit le débit massique de soufflage :

$$q_{mas} = \frac{q_{vas}}{3600 * v}$$

Avec :

$q_{mas}$  : Débit massique de l'air soufflé [Kgas/s].

$q_{vas}$  : Débit volumique de l'air soufflé [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$v$  : volume spécifique [ $\text{m}^3/\text{Kgas}$ ]

$$q_{mas} = \frac{8880}{3600 * 0.828} = 2.98 \text{ Kg}_{as}/s$$

➤ **Humidificateur à vapeur :**

• **Détermination du point de l'entrée de l'humidificateur « E<sub>H</sub> »**

Nous savons que l'évolution de l'air dans la batterie chaude se fait à teneur en eau constante, donc :  $X_m = X_{E_H}$

D'autre part, l'évolution de l'air dans l'humidificateur à vapeur se fait pratiquement selon une évolution isotherme, donc :  $T_{SB} = T_{E_H}$

Pour  $X_{E_H}$  et  $T_{E_H}$  connus, du diagramme d'air humide on tire  $h_{E_H}$

Du diagramme de l'air humide on obtient :

$$X_{E_H} = 0.0045 \text{ kge/kgas} ; X_{S_H} = 0.00727 \text{ kge/kgas}$$

$$T_{SB} = T_{E_H} = 16 \text{ °C}$$

$$h_{S_H} = 27,48 \text{ kj/kg}$$

$$h_{E_H} = 34,49 \text{ kj/kg}$$

• **Puissance de l'humidificateur :**

$$P_{HV} = q_{mas} * (h_{S_H} - h_{E_H})$$

$$P_{HV} = 2,98 * (34,49 - 27,48) = 20,89 \text{ kw}$$

• **Débit utile de vapeur de l'humidificateur :**

$$q_{mHV} = q_{mas} * (X_{S_H} - X_{E_H})$$

$$q_{mHV} = 2,98 * (0,00727 - 0,0045) = 8,25 * 10^{-3} \text{ Kg}_{eau}/s$$

$$q_{mHV} = 8,2545 \text{ g}_{eau}/s$$

**2<sup>eme</sup> cas : (traitement de l'air)**

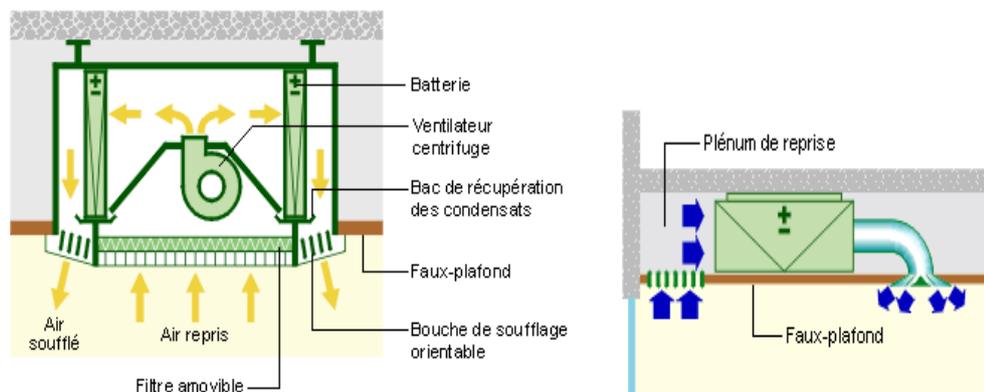
Dans ce deuxième cas on traitera la climatisation totale du rez-de-chaussée, pour notre cas on traitera uniquement le restaurant vu la grandeur du RDC.

**VII.6 Installations à air et à eau :**

Dans la réalisation des installations à air et à eau, les tâches sont distinctes. L'alimentation en air neuf, l'évacuation des charges hygrométriques, le maintien de la qualité de l'air et éventuellement le maintien à pression constante d'un local est assuré par l'air, alors que l'eau effectue l'évacuation des charges thermiques.

**VII.6.1 Installation de traitement d'air à ventilo-convecteurs (système Fan-Coil) :**

Dans les installations à induction, un système de traitement de l'air prépare ce qu'on appelle l'air primaire correspondant au taux minimum en air neuf. Cet air primaire est véhiculé vers chacun des éjecto-convecteurs situés dans les locaux. Là, il est diffusé à très haute vitesse à partir de buses, contrairement au ventilo-convecteurs l'entraînement de l'air est effectuée par un système de soufflage tangentiel (figure VI.6). Les installations à ventilo-convecteurs, comprennent les systèmes à deux, trois et quatre tubes.



**Figure VI.6.** Schéma du ventilo-convecteurs

Dans les installations à ventilo-convecteurs, l'alimentation en air neuf est assurée par une installation distincte à débit d'air constant. L'installation à débit d'air constant doit, comme dans le cas d'un système à air primaire pour les éjecto-convecteurs, non seulement assurer l'alimentation en air neuf mais également l'humidification ou la déshumidification. Il

existe deux possibilités pour l'alimentation en air neuf. La première consiste à l'introduire à faible pression dans le ventilo-convecteur, dans ce cas, le système de soufflage transversale propulse un mélange d'air neuf et d'air ambiant. La seconde consiste à introduire l'air neuf directement dans le local par des bouches d'air traditionnelles et ce totalement indépendamment des ventilo-convecteurs.

L'échangeur de chaleur peut être raccordé par un système à deux ou quatre tuyaux au réseau de l'eau chaude ou glacée du bâtiment. Le ventilateur de l'appareil aspire l'air ambiant et l'air primaire (extérieur) et refoule le mélange dans le local. Pendant la saison froide la chaudière fournit de l'eau chaude (65/75) tandis qu'en été la machine frigorifique délivre de l'eau glacée (10 à 12°C). En demi-saison il faut disposer tant d'eau chaude que d'eau froide puisque suivant les zones il faut fournir des calories ou des frigories.

Le principal avantage des installations à ventilo-convecteurs réside dans l'éventail des possibilités de contrôle offertes à l'utilisateur. En plus de la possibilité de régler la température ambiante, l'utilisateur peut également faire varier le débit d'air grâce à des régimes différents, généralement au nombre de trois. En cas d'inoccupation des locaux, les ventilo-convecteurs peuvent être mis à l'arrêt individuellement. Il est important de bien veiller à ce que la puissance de chauffage statique soit suffisante. L'entretien décentralisé, devant donc être effectué dans chaque local, représente le principal inconvénient des installations à ventilo-convecteurs.

### VII.6.2. Types d'installation de ventilation :

Selon la conception architecturale, la zone géographique, le degré de confort thermique recherché, deux solutions de ventilation sont possible, en associant le chauffage et ou la climatisation :

- Ventilation par aérotherme.
- Ventilation par ventilo-convecteur.

#### ***Ventilation par ventilo-convecteur (notre cas) :***

Cette unité peut souffler que de l'air neuf ou bien en opérant sur une partie d'air intérieur puis soufflé de nouveau dans le local.

De plus ces unités terminales, peuvent assurer la vitesse de passage de l'air au contact des personnes dans la gamme désirable qui est entre 7 cm/s et 25 cm/s. En dessous de 7 cm/s peut subsister dans le local, selon la saison une sensation d'air étouffant. Cet effet est surtout

sensible quand la température est élevée et qu'il règne des odeurs dans le local. Au dessus de 25 cm/s, les occupants peuvent éprouver une sensation de courant d'air, ce qui est indésirable.

### VII.6.3 Le taux de brassage :

Le taux de brassage est le nombre de renouvellements volumiques de l'air d'un local pendant une l'unité de temps (l'exigence de ce renouvellement pouvant être d'aération, de climatisation, de chauffage...)

Les valeurs pratiques de ce taux sont :

- 1 à 2 volumes par heure pour les aérations d'habitat ou de bureaux ;
- 2 à 5 volumes par heure pour le chauffage de locaux (notre cas) ;
- De 5 à 10 volumes par heure pour la clim.

Aussi c'est le nombre de fois que le volume d'air total de l'enceinte passe par les filtres de très haute efficacité en une heure. Ce taux doit être suffisant pour éliminer la contamination particulaire produite dans le local et doit être en conséquence d'autant plus important que la classe d'empoussièremment est plus petite.

Il est exprimé par la relation suivante :

$$\tau = q_{vas} / V \quad (\text{VII.2})$$

Avec :

$\tau$  : taux de brassage en (vol/h)

$q_{vas}$  : Débit volumique de soufflage en (m<sup>3</sup>/h)

V : volume du local considéré en m<sup>3</sup>.

### VII.6.4 La diffusion de l'air :

Le système de diffusion représente la partie terminale et visible d'une installation de génie climatique.

La diffusion d'air conditionne la réussite ou non de l'installation. En effet, elle influence la perception de l'occupant sur son confort et sa sensation de chaud et de froid. Mais le confort de l'occupant se retrouve également dans la qualité de son air intérieur et la diffusion d'air est étroitement liée à la qualité de l'air. Elle permet, lorsqu'elle est bien conçue, d'évacuer les polluants et de contribuer à l'élaboration d'un environnement sain pour l'occupant.

D'autre part, la diffusion participe également au développement durable. Elle influence la consommation d'énergie du bâtiment et l'économie d'énergie est l'un des critères nécessaires à l'obtention HQE (haute qualité environnementale) du bâtiment.

Enfin, la diffusion d'air et le confort thermique sont également définis par la norme ISO 7730. Cette norme détermine des critères qualitatifs qui mesurent et évaluent les ambiances thermiques modérées. Il convient donc de se préoccuper du système utilisé pour diffuser l'air préparé en centrale ou sur une unité terminale de climatisation.

#### - Caractériser le confort

- Le confort de diffusion dans la zone d'occupation est caractérisé par les critères suivants :

- Absence de stratification de température dans la zone d'occupation.
- Une bonne qualité de l'air intérieur.
- Absence de courants d'air dans la zone d'occupation.
- Un niveau acoustique confortable dans la zone d'occupation.

**Tableau VII.12** : Le niveau acoustique confortable.

|                        |       |                   |       |
|------------------------|-------|-------------------|-------|
| <b>Théâtre</b>         | 30 dB | <b>Hôpital</b>    | 35 dB |
| <b>Cinéma</b>          | 35 dB | <b>Hôtel</b>      | 35 dB |
| <b>Eglise</b>          | 30 dB | <b>Restaurant</b> | 40 dB |
| <b>Bibliothèque</b>    | 35 dB | <b>Conférence</b> | 35 dB |
| <b>Salle de classe</b> | 40 dB | <b>Bureau</b>     | 35 dB |

**Tableau VII.13** : Vitesses résiduelle au niveau du diffuseur pour différents locaux.

| <b>local</b>                                                                                                    | <b>Vitesse résiduelle</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Locaux d'hébergement<br>Hôpitaux<br>Locaux d'enseignement<br>Locaux de réunion<br>Bureaux<br>Salle de spectacle | 0,15 m/s                  |
| Locaux commerciaux<br>Atelier                                                                                   | 0,17 m/s                  |
| Locaux sportifs, Grands magasins<br>Bâtiments du transport<br>Locaux industriels                                | 0,25 m/s                  |

Il existe deux modes de diffusion d'air :

- Diffusion par flux non unidirectionnel (Turbulent).
- Diffusion par flux unidirectionnel (Laminaire).

#### **a- La diffusion par flux non unidirectionnel (flux turbulent)**

L'air est soufflé à travers des diffuseurs répartis ponctuellement dans la salle. Il se mélange par effet d'induction de manière idéale à l'air ambiant d'où une dilution des impuretés de l'air ambiant de la salle propre.

#### **b- La diffusion par flux unidirectionnel (flux Laminaire)**

La zone à protéger est totalement balayée par un écoulement d'air propre à vitesse régulière, les filets d'air étant à peu près parallèles. Le flux laminaire s'obtient avec une vitesse d'air autour de 0.45 m/s. Les impuretés libérées par le poste de travail, sont directement **refoulées** hors de la zone.

### **VII.6.5 Les différents débits d'air :**

Après la filtration et la purification de l'air à introduire dans les différentes salles pour des raisons d'hygiène et de santé. Cet air sera diffusé sous certaines conditions de températures et d'humidité adéquate sous une vitesse et une direction appropriées. De plus, l'air vicié ou pollué doit être évacué afin d'assurer un confort plus ou moins satisfaisant.

#### **a) Débit d'air neuf :**

Le corps humain émet des produits gazeux qui contribuent à polluer l'air de la salle blanche. Le maintien de la teneur en oxygène et en gaz carbonique de l'air ambiant exige des taux de renouvellement d'air.

Ce taux de renouvellement d'air dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels :

- Le nombre d'occupants.
- Les dimensions des salles.
- L'affectation de la salle, c'est-à-dire les activités s'y déroulent.

Le taux de renouvellement d'air est fondé sur un apport d'air extérieur minimal de 15 vol/h.

[Annexe 8]

Il est exprimé par le rapport du débit d'air neuf par le débit d'air soufflé admis dans le local.

$$Y_{an} = \frac{q_{man}}{q_{mas}} \quad (\%) \quad (\text{VII.3})$$

**b) Débit d'air soufflé**

L'état et le débit de l'air à soufflé résultent de la résolution d'un système d'équations exprimant respectivement les bilans enthalpique et hydrique.

$$Q = q_{mas} \cdot (h_i - h_s) = q_{mas} \cdot C_{p\text{air}} \cdot (T_i - T_s) \quad (\text{VII.4})$$

$$\dot{m}_{ve} = q_{mas} \cdot (X_i - X_s) \quad (\text{VII.5})$$

Où :

$Q$  : représente la charge calorifique en hiver ou frigorifique en été. Positive s'il s'agit d'apport et négative s'il s'agit de déperditions.

$q_{mas}$  : Débit massique d'air à soufflé [kg/s].

$h_s$  : Enthalpie spécifique de l'air humide à soufflé [kJ/kgas].

$h_i$  : Enthalpie spécifique de l'air humide ambiant [kJ/kgas].

$X_i$  : Teneur en eau de l'air ambiant [kge/kgas].

$X_s$  : Teneur en eau de l'air à souffler [kge/kgas].

$T_i$  : Température de l'air ambiant [°C].

$T_s$  : Température de l'air à soufflé [°C].

$\dot{m}_{ve}$  : Quantité d'humidité dégagée (charge hydrique) [kg/s].

Un écart de température  $\Delta T$  entre la température de l'air intérieur et celle de soufflage peut être imposé, il est de l'ordre de 8°C à 12°C.

**c) Débit d'air mélangé**

Pour des raisons d'économie d'énergie, on fait recycler une partie de l'air intérieur repris, pour l'introduire dans la salle sous forme de mélange avec de l'air extérieur neuf.

- **Débit d'air recyclé**

Le débit d'air recyclé est donné comme suit :

$$q_{mar} = q_{mas} - q_{man} \quad (\text{VII.6})$$

Avec :

$q_{mar}$ : Débit d'air recyclé.

$q_{mas}$ : Débit d'air soufflé.

$q_{man}$ : Débit d'air neuf à introduire

- **Taux de recyclage d'air**

Il représente la portion d'air repris puis recyclé dans le local, il est donné par le rapport :

$$Y_{ar} = \frac{q_{mar}}{q_{mas}} \quad (\%) \quad (\text{VII.7})$$

- **Débit d'air mélangé**

L'air soufflé représente un mélange d'air neuf et d'air recyclé. Il est donné par la relation suivante :

$$q_{mam} = q_{mas} = q_{man} + q_{mar} \quad (\text{VII.8})$$

Dans le caisson de mélange, l'air (neuf+ recyclé) est soumis à un bilan enthalpique qui se traduit par l'égalité suivante :

$$(q_{man} + q_{mar}) \cdot h_m = q_{man} \cdot h_e + q_{mar} \cdot h_i \quad (\text{VII.9})$$

Comme :

$$q_{mam} = q_{mas} = q_{man} + q_{mar}$$

Le bilan s'écrit :

$$q_{mas} \cdot h_m = q_{man} \cdot h_e + q_{mar} \cdot h_i \quad (\text{VII.10})$$

- **Température du mélange**

La température du mélange est la somme des températures apportées par chaque composant.

Ainsi :

$$q_{mas} \cdot T_m = q_{man} \cdot T_e + q_{mar} \cdot T_i$$

D'où :

$$T_m = (q_{man} \cdot T_e + q_{mar} \cdot T_i) / q_{mas}$$

Comme :

$$Y_{an} = \frac{q_{man}}{q_{mas}} \quad \text{Et} \quad Y_{ar} = \frac{q_{mar}}{q_{mas}}$$

$$T_m = Y_{an} \cdot T_e + Y_{ar} \cdot T_i \quad (^\circ\text{C}) \quad (\text{VII.11})$$

- **Enthalpie du mélange**

L'enthalpie du mélange est évaluée de la même manière que celle de la température.

Elle s'exprime par :

$$h_m = (q_{man} \cdot h_e + q_{mar} \cdot h_i) / q_{mas}$$

Ou encore :

$$h_m = Y_{an} \cdot h_e + Y_{ar} \cdot h_i \quad [\text{KJ/Kgas}] \quad (\text{VII.12})$$

- **Teneur en eau au point du mélange**

Après la connaissance des valeurs de la température et de l'enthalpie du mélange, la valeur de la teneur en eau au point du mélange peut être lue directement sur le diagramme de l'air humide. La relation exprimant cette quantité est :

$$X_m = Y_{an} \cdot X_e + Y_{ar} \cdot X_i \quad [\text{KJ/Kgas}] \quad (\text{VII.13})$$

### VII.6.6 Application en saison hivernale :

#### d. Conditions intérieures de base :

- Température intérieure :  $T_i = 22 \text{ }^\circ\text{C}$
- Humidité relative intérieure :  $\varphi_i = 50 \%$
- Teneur en eau intérieure :  $X_i = 0.00823 \text{ kge/kgas}$
- Enthalpie spécifique intérieure :  $h_i = 43.05 \text{ kJ/kgas}$
- Volume spécifique intérieur :  $v_i = 0.846 \text{ m}^3/\text{kgas}$

#### e. Conditions extérieures de base :

- Température extérieure :  $T_e = 6 \text{ }^\circ\text{C}$
- Humidité relative extérieure :  $\varphi_e = 80 \%$
- Teneur en eau extérieure :  $X_e = 0.00463 \text{ kge/kgas}$
- Enthalpie spécifique extérieure :  $h_e = 17.67 \text{ kJ/kgas}$
- Volume spécifique extérieur :  $v_e = 0.796 \text{ m}^3/\text{kgas}$

#### f. Exemple de calcul

##### 1- CTA du restaurant :

- Charge calorifique totale  $Q_c = -36,8 \text{ kW}$
- Volume habitable  $V = 1293,16 \text{ m}^3$

- **Caractéristiques du point de soufflage**

##### - Débit d'air soufflé

Le taux de brassage recommandé pour cette salle est de 5 vol/h.

$$\tau = q_{vas} / V$$

$$q_{vas} = \tau \cdot V = 5 * 1293,16 = 6465,8 \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

L'écart de températures au soufflage représente la **différence algébrique** entre la température de soufflage et la température de l'ambiance (du local) :  $\Delta T = T_i - T_s$  en [K] ou [ $^\circ\text{C}$ ]

Cet écart de températures :

- peut être positif (l'air au soufflage est plus froid que l'air du local)
- peut être négatif (l'air au soufflage est plus chaud que l'air du local)
- dépend de la capacité des dispositifs de diffusion à diffuser l'air sans gêne pour les occupants et de leur position dans le local.

On peut, en première approximation, prendre comme valeurs :

**Soufflage froid** :  $\Delta T$  de + 5 à + 12 K (valeur courante + 10 K)

**Soufflage chaud** :  $\Delta T$  de - 5 à - 20 K (valeur courante - 20 K)

Dans le cas des notre, on prend un écart de température de -20°C

On déduit le débit massique de soufflage :

$$Q_c = q_{mas} * c_{air} * (T_i - T_s) \quad (VII.14)$$

Avec :

$q_{mas}$ : Débit massique de l'air soufflé [kgas/S].

$c_{air}$ : Chaleur massique de l'air est elle égale à 1,02 KJ/kg<sub>as</sub><sup>-1</sup>.

$\Delta T = (T_i - T_s) = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$  . (Cas hivernal)

$\Delta T = (T_i - T_s) = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$  . (Cas estival)

Depuis (VII.14) on obtient :

$$q_{mas} = \frac{Q_c}{[c_{air} * (T_i - T_s)]} = \frac{-36,8}{[1,02 * -20]} = 1,80 \text{ Kg/s}$$

**$q_{mas} = 1,8 \text{ kg/s}$  (Pour le cas hivernal)**

$$q_{mas} = \frac{Q_f}{[c_{air} * (T_i - T_s)]} = \frac{39}{[1,02 * 10]} = 3,82 \text{ Kg/s}$$

**$q_{mas} = 3,82 \text{ kg/s}$  (Pour le cas estival)**

**Remarque** : on prend toujours la valeur maximale du débit calculer, et dans notre cas le débit de soufflage à prendre est de  **$q_{mas} = 3,82 \text{ kg/s}$**

Depuis l'équation (VII.4) on tire :

$$T_s = T_i - \frac{Q_c}{c_{air} * q_{mas}} = 31,44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_s = 31,44 \text{ }^\circ\text{C}$$

Et de l'équation (VII.4) on tire :

$$Q_c = q_{mas} \cdot (h_i - h_s) \rightarrow h_s = h_i - \frac{Q_c}{q_{mas}} = 43 - \frac{-36,8}{3,82} = 52,63 \text{ KJ/kg}_{as}$$

$$h_s = 52,63 \text{ KJ/kg}_{as}$$

Du diagramme de l'air humide, pour  $h_s = 52,63 \text{ KJ/kg}_{as}$  et pour  $T_s = 31,44 \text{ }^\circ\text{C}$ , on en déduit la valeur de la teneur en eau du soufflage :

$$X_s = 0,00821 \text{ kg}_{eau} / \text{kg}_{a.s}$$

- **Caractéristiques du point de mélange:**

- **Débit total à soufflé :**

$$q_{Tas} = q_{mas} = 3,82 \text{ kg/s}$$

- **Débit d'air neuf :**

Le volume spécifique de l'air neuf est tiré du diagramme de l'air humide :

$$v_e = 0,796 \text{ m}^3/\text{kg}_{as}$$

$$\text{Sont débit massique est donc : } q_{man} = \frac{6465,8}{3600 \cdot 0,796} = 2,256 \text{ kg/s}$$

$$q_{man} = 2,256 \text{ kg/s}$$

- **Débit d'air recyclé :**

$$q_{mar} = q_{mas} - q_{man} = 3,82 - 2,256 = 1,54 \text{ kg/s}$$

$$q_{mar} = 1,54 \text{ kg/s}$$

- **Température du mélange :**

$$T_m = (q_{man} \cdot T_e + q_{mar} \cdot T_i) / q_{mas}$$

$$T_m = \frac{[(1,54 \cdot 6) + (2,256 \cdot 22)]}{3,82} = 15,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

- **Enthalpie du mélange :**

$$h_m = (q_{man} \cdot h_e + q_{mar} \cdot h_i) / q_{mas}$$

$$h_m = \frac{[(1,54 * 17,67) + (2,256 * 43,05)]}{3,82} = 32,55 \text{ kJ/kg}_{as}$$

- Teneur en eau du mélange :

Par simple lecture sur le diagramme d'air humide, pour :

$$T_m = 15,4 \text{ }^\circ\text{C} \text{ Et } h_m = 32,55 \text{ kJ/kg}_{as}$$

$$X_m = 0,00826 \text{ kg}_e/\text{kg}_{as}$$

**Tableau VII.14** : état et débit de l'air : exploitation hiver

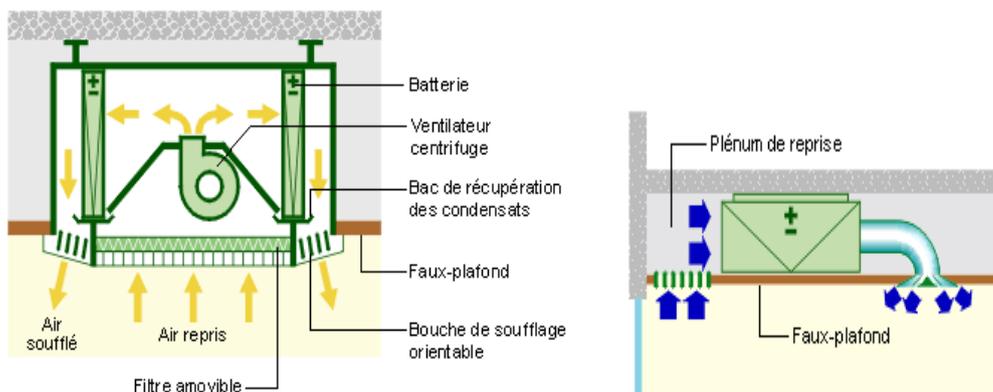
$$T_e = 6 \text{ }^\circ\text{C} ; \varphi_e = 80 \% ; \text{ d'où } h_e = 17,67 \text{ kJ/kg}_{as} ; X_e = 0,00463 \text{ kg}_e/\text{kg}_{as}$$

| Local      | Charge calorifique (KW) | Température intérieure (°C) | $X_i$ $\text{kg}_e/\text{kg}_{as}$ | $h_i$ $\text{kJ}/\text{kg}_{as}$ | $\varphi_i$ % | Température d soufflage (°C) | $X_s$ $\text{kg}_e/\text{kg}_{as}$ | $h_s$ $\text{kJ}/\text{kg}_{as}$ | Débit de soufflage kg/s | Température de mélange °C | $X_m$ $\text{kg}_e/\text{kg}_{as}$ | $h_i$ $\text{kJ}/\text{kg}_{as}$ |
|------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Restaurant | 36,8                    | 22                          | 0,00823                            | 43,05                            | 50            | 31,44                        | 0,00821                            | 52,63                            | 3,82                    | 15,4                      | 0,00826                            | 32,55                            |

**Ventilo-convecteurs :**

Ces appareils que l'on appelle également convecteurs de soufflage ou fan coil, servent à la ventilation de locaux de taille réduite comme des pièces à vivre, bureaux, salles de classe ou salle de réunion. En générale, ils servent également pour le chauffage du local concerné. Dans ce cas, un modèle ayant des pertes de charges réduites est plus avantageux car il permet de profiter d'un chauffage statique suffisant (fonctionnement ralenti durant la nuit) même lorsque le soufflage n'est pas en fonctionnement.

Les ventilo-convecteurs se composent d'une enveloppe en tôle d'acier dans laquelle sont intégrés l'ensemble des composants comme le ventilateur, le moteur, l'échangeur de chaleur, le filtre, etc. en principe, l'air ambiant est aspiré au niveau du faux-plafond puis l'air est soufflé à la verticale vers le bas. L'alimentation en air neuf provient d'un raccordement à l'air soufflé d'une centrale de traitement de l'air neuf.



**Figure : ventilo-convecteur faux plafond**

### VII.6.7 Choix des ventilo-convecteurs :

Le choix de nombre et des types des ventilo-convecteurs sont basés sur le calcul des puissances frigorifiques et calorifiques pour chaque local séparément.

- a) **Charge frigorifique ou calorifique :** La charge frigorifique ou calorifique est la quantité de chaleur à éliminer ou à fournir au local dans les conditions les plus défavorables. C'est une donnée se rapportant au local.
- b) **Puissance frigorifique ou calorifique :** La puissance calorifique ou frigorifique est la puissance totale à mettre en œuvre dans l'appareil. C'est une donnée se rapportant aux équipements.
- c) **Puissance calorifique :** La puissance calorifique est la somme de la charge calorifique du local et de quote-part du chauffage de l'air extérieur introduit pour la ventilation.

Elle est exprimée par la formule suivante :

$$P_c = Q_c + Q_L \quad (\text{VII.15})$$

Ou bien :

$$P_c = Q_c + q_{man}(h_i - h_m)$$

Avec :  $Q_c$  charge calorifique du local ;

$q_{man}(h_i - h_m)$  Quote-part du chauffage de l'air extérieur introduit pour la ventilation.

#### d) Puissance frigorifique :

La puissance frigorifique est égale à la somme de la charge frigorifique et de quote-part de la réfrigération et de la déshumidification de l'air introduit pour la ventilation.

Elle s'exprime par la formule suivante :

$$P_f = Q_f + Q_L \quad (\text{VII.16})$$

Ou bien

$$P_f = Q_f + q_{man}(h_i - h_m) + G_e \cdot L_v$$

Avec :  $Q_f$  charge calorifique du local ;

$q_{man}(h_i - h_m)$  Quote-part du chauffage de l'air extérieur introduit pour la ventilation.

$G_e$  : La quantité d'eau à éliminer de chaque local (g/h.personne).

$L_v$  : Chaleur latente de vaporisation de l'eau (KJ/kg).

**Remarque** : dans les locaux de séjour (bureaux ; chambres ; restaurant ; salle d'attente ; etc...), la quantité d'eau à éliminer est celle due aux occupants. Elle est d'environ 50 g/h.personne (inactive physiquement).

#### e) ventilo-convecteurs horizontaux non carrossés :

Afin de préserver l'esthétique des locaux, l'appareil est caché au-dessus du faux plafond ou dans un soffite ; seules les grilles de reprises et de soufflage de l'air demeurent apparentes. Le ventilateur aspire l'air, au travers d'un filtre, à l'intérieur du local climatisé par l'intermédiaire d'une grille de reprise et d'un conduit souple ou bien directement au-dessus du faux-plafond, celui-ci servant de plénum de reprise.

L'air traverse ensuite la batterie d'échange où il est refroidi et déshumidifié ou bien réchauffé avant d'être soufflé dans le local par des diffuseurs plafonniers encastrés dans le faux plafond ou des bouches verticales fixées au soffite.

Les possibilités de diffusion de l'air sont plus grandes qu'avec un ventilo-convecteur plafonnier apparent et le confort est potentiellement meilleur.

Ces appareils se caractérisent par une faible hauteur (de 185 à 290mm) qui autorise leur insertion dans pratiquement tous les faux-plafonds.

D'autre part, l'accès aux différents organes est prévu par le dessous de l'appareil, afin de permettre les opérations courantes de maintenance sans sa dépose.

Il existe aussi une variante de ces matériels adaptée aux locaux spéciaux équipés d'un faux-plancher. L'accès interne est alors placé sur la face supérieure.

Pour sélectionner un ventilo-convecteur, on commencera par déterminer la batterie froide à partir du catalogue [ ] à fin d'éviter le surdimensionnement, mais on s'assurant que cette batterie doit satisfaire les besoins en puissance calorifique du local.

- **Sélection de la batterie froide :** Le choix de la batterie froide se fait à partir des caractéristiques dont les principales sont :
  - Température de l'eau à l'entrée de la batterie égale à 7 °C ;
  - Température de l'eau à la sortie de la batterie est égale à 12 °C ;
  - Puissance frigorifique doit être supérieur aux besoins en puissance frigorifique du local ;
  - Vérifier que la puissance calorifique pour un régime hivernal (75/65 dans notre cas) est supérieure aux besoins en puissance calorifique ;
  - Le débit d'air ;
  - Le niveau sonore.

Les ventilo-convecteurs horizontaux sont de marque CARRIER (modèle 42 JW-005-009-016) position horizontale dissimulée dans un faux plafond et sans habillage.

Ils sont disponibles en 3 tailles, avec des puissances frigorifiques de 3,05 à 16,0 kW et des puissances calorifiques de 7,1 à 31,0 kW, et des débits d'air de 197 à 690 l/s. Le caisson est en zinc d'aluminium ou acier galvanisé pré-peint. Toutes les tailles comprennent une isolation thermique et acoustique, une cuvette d'évacuation des condensats avec isolation externe anti-condensats, et une vidange.

Les échangeurs de chaleur eau-air de haut rendement sont construits en tubes de cuivre avec ailettes en aluminium prétraité. Toutes les tailles possèdent une couche supplémentaire d'anticorrosion. La construction ondulée spéciale des tubes décalés permet un transfert de chaleur optimal.

Les ventilateurs centrifuges à aubes inclinées vers l'avant ont subi un équilibrage statique et ils sont entraînés par des moteurs monophasés à trois vitesses (standard) avec en option une quatrième vitesse ultra rapide.

Des filtres à air nettoyables protègent la batterie et le moteur de la poussière et des impuretés.

Un panneau permet d'accéder facilement à l'ensemble des composants.

- **Cas du restaurant par exemple : (cas estivale)**

Nombre d'occupant : 85 personnes ce qui donne

$$G_e = 85 \cdot 50 = 4250 \left(\frac{g}{h}\right) = 4,25 \left(\frac{kg}{h}\right) = 1,18 * 10^{-3} kg/S$$

$$L_v = 2257 kJ/kg$$

$$P_f = Q_f + q_{man}(h_e - h_m) + G_e \cdot L_v$$

$$P_f = 39,6 + 2,018(71,37 - 59,09) + 1,18 * 10^{-3} * 2257$$

$$P_f = 67,04 kw$$

Pour l'hiver on obtiendra

$$P_c = Q_c + q_{man}(h_i - h_m)$$

$$P_c = 36,8 + 2,256(43,05 - 32,55) = 60,48 kw$$

**Tableau VII.16** Le choix des ventilo-convecteurs du restaurant :

| local             | Régime estival |                    | Régime hivernal    | Ventilo convecteurs |        |        |
|-------------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------|--------|
|                   | Débit d'air    | $P_f$<br><i>kw</i> | $P_c$<br><i>kw</i> | Model               | Nombre | Numéro |
| <b>Restaurant</b> | 197            | 67,04              | 60,48              | 42 JW               | 5      | 009    |
|                   | 405            |                    |                    | 42 JW               | 2      | 005    |
|                   | 690            |                    |                    | 42 JW               | 1      | 016    |

**Introduction :**

Les réseaux de gaines ont pour but de véhiculer l'air depuis la centrale de traitement d'air jusqu'au local à conditionner. Pour accomplir cette fonction d'une manière rationnelle, l'installation doit être calculée et dimensionnée en tenant compte de certaines suggestions, telles que l'encombrement, pertes de charge et vitesse ....

Le dimensionnement du réseau de gaine tient une place prépondérante. En effet, pour réaliser une bonne distribution d'air, il faut que les conduits aient des dimensions appropriées pour pouvoir véhiculer les débits nécessaires pour chaque local.

Pour ce faire, il faut que les gaines soient faites de manière à éviter le maximum de singularité (coudes, rétrécissement, élargissements ...), cela réduira les chutes de pressions et par conséquent une perte de d'énergie tout évitant une mauvaise circulation de l'air dans les conduits qui est à l'origine des problèmes de déséquilibre des réseaux.

**VIII-1 Le conduit d'air (gainés de soufflage et d'extraction) :**

Ils ont pour rôle essentiel de véhiculer l'air depuis la central de traitement jusqu'au local à conditionner et d'extraire l'air vicier du local, il arrive parfois pour des raisons économiques qu'une partie de l'air extraite soit recyclé.

**VIII-2 Calcul des réseaux de gaines :**

Le calcul d'un réseau de gaines revient à déterminer la section de la conduite, la vitesse de l'air ( $v$ ) qui circule à l'intérieur ainsi que la chute de pression que subit cet air à l'intérieur du conduit.

Les vitesses de circulation n'étant pas uniformes dans un réseau de tuyauteries, il est nécessaire de le diviser en tronçons partiels pour le calcul de la chute de pression total. On distingue deux sortes des pertes de charges :

- Linéaires.
- Particulières ou singulières

**VIII-3. Etude des pertes de charge****VIII-3.1 Perte de charges réparties :**

Elles interviennent dans les tronçons de longueur droite, dont le diamètre ou la section est constante. L'expression de chute de pression est donnée par la relation suivante:

$$\text{Avec :} \quad j = \frac{1}{2} \lambda \frac{v_m^2}{D} \rho \quad (\text{VIII-1})$$

$\Delta H_l$  : Chute de la charge (pascal).

J : Est appelé la perte de charge unitaire (ou par unité de longueur de tronçon) et s'exprime en pascal par mètre (Pa/m).

L : Longueur de conduit (m).

$v_m$  : Vitesse moyenne dans la section (m/s).

D : Diamètre du conduit (m).

$\lambda$  : Coefficient de perte de charge unitaire (Coefficient de résistance) sans dimensions, il dépend de la rugosité et le type de l'écoulement.

$\rho$  : Masse volumique de l'air ( $\text{Kg/m}^3$ ).

**VIII-3.2 Pertes de charges singulières :**

Ce sont les pertes de charge qui n'entrant pas dans la catégorie précédente. Elles concernent les tronçons coniques (élargissement ou rétrécissement de la section) les coudes, les branchements, etc.....

Elles sont proportionnelles à la pression dynamique de l'air ; elles sont données par la relation suivante :

$$\Delta H_s = \xi P_d = \frac{1}{2} \xi v_m^2 \rho \quad (\text{VIII-2})$$

$\Delta H_s$ : Pertes de charge singulière (pascal).

E : Coefficient de perte de charge singulière sans dimensions qui caractérise le type et la forme de la singularité.

$P_d$ : Pression dynamique moyenne de l'air dans la section de la singularité (Pa).

### VIII-3.3 Pertes de charge totales :

Les pertes de charges totales d'un réseau de conduits peuvent se calculer par la relation générale qui suit :

$$\Delta H_T = \sum jL + \sum \frac{1}{2} \rho \xi v^2 \quad (\text{VIII-3})$$

### VIII-4 Méthode de calcul des gaines :

D'après le manuel de Carrier [2] trois méthodes sont utilisées pour la détermination d'un réseau de gaines.

1. Chute arbitraire de la vitesse.
2. Conservation de la perte de charge.
3. Gain de pression statique.
  - a) La première méthode consiste à choisir une vitesse initiale  $v$  dans le tronçon principal, ensuite à calculer la section ( $q/v = S$ ), après on réduit la vitesse d'un tronçon à un autre de (2,5 m/s), mais cette méthode ne peut être utilisée que par une personne expérimentée.
  - b) Dans cette méthode on obtient des résultats adéquats, mais on se retrouve avec le problème d'équilibrage; le principe de cette méthode est basé sur le fait que la perte de charge linéaire soit conservée pour l'ensemble de chaque réseau de conduits.
  - c) Cette méthode est basée sur le fait qu'il faudra avoir la même pression statique derrière les bouches de soufflage.

Quelle méthode à utiliser?

- Si les tronçons dérivés sont longs et contiennent plusieurs bouches de soufflage, on utilise la deuxième méthode pour le tronçon principal et la troisième pour les tronçons dérivés.
- Si les tronçons dérivés sont courts et les bouches sont très proches l'une à l'autre, on utilise la deuxième pour les tronçons dérivés et la troisième pour le tronçon principal.

**VIII-5 Principe de calcul des deux méthodes :**

On fixe le débit d'air et la vitesse initiale en utilisant la courbe n°7 du manuel du carrier [2], par l'intersection de la colonne de débit d'air  $q_{as}$  (m<sup>3</sup>/h) et la courbe des vitesses  $v$  (m/s) et par projection sur la ligne de la perte de charge unitaire  $j$  (mmCE/m) et on détermine ainsi sa valeur et à partir de la courbe n°7 du manuel de Carrier [2], et la valeur du diamètre  $D$  (mm) ce qui conduit à la détermination de diamètre et la section équivalent partir de la table 6 du Carrier [2].

Pour le tronçon suivant, on fixe  $j$  (mmCE/m) déterminé précédemment, et on aura les valeurs de  $v$  (m/s) et  $D$  (mm) et le diamètre équivalent  $D_{eq}$ , ce qui sera de même pour tous les tronçons.

**Remarque :**

- Le diamètre équivalent, nous permet de déterminer les dimensions d'une gaine rectangulaire dont la section réalisera la même perte de charge qu'une section circulaire. Les valeurs de  $a$  et  $b$

( $S_{rectangulaire} = a \cdot b$ ) sont à déterminer de la table 6 du manuel Carrier [2].

- La longueur équivalente est la longueur du tronçon à la quelle s'ajoute la longueur fictive du coude, les valeurs de cette dernière sont données par la table 10 et 12 du manuel de Carrier.

**VIII-6 Gain de chaleur de la gaine :**

L'expression de l'élévation de la température dans un tronçon de section  $S$  est [2] :

$$\Delta T = \alpha \beta \frac{L_{eq}}{10} (T_e - T_i) \quad (\text{VIII-4})$$

$a$  : Coefficient, dont les valeurs sont données par la table n°14 du manuel du Carrier.

$b$  : Coefficient de calorifuge de la gaine.

$b = 1.00$  : Gaine non habillée.

$b = 0.45$  : Gaine habillée.

$b = 0.185$  : Gaine isolée.

$b = 0.100$  : Gaine bien isolée.

**VIII-7 Equilibrage des réseaux des conduits :**

Pour déterminer un réseau de conduits d'air, il fallait comme cela est cité précédemment :

- Calculer le débit massique et volumique de chaque circuit.
- Calculer les dimensions des conduits (diamètre ou section).
- Calculer les pertes de charge du circuit principal c'est à dire c'est à dire la résistance maximale du circuit défavorisé de façon à choisir le type de ventilateur à installer.

Les calculs étant faits, il faut maintenant équilibrer les différents réseaux du conduit.

L'équilibrage des réseaux de conduits consiste à obtenir dans deux ou plusieurs circuits en parallèle des pertes de charge respectives sensiblement égales pour les débits prévus.

**a. Règle de l'équilibrage :**

Lorsque plusieurs circuits sont en parallèle, l'écoulement de l'air s'effectue de telle sorte que les pertes de charges totales de chaque circuit soient égales.

Rappelons que les pertes de charges totales d'un circuit sont à considérer depuis l'orifice d'aspiration jusqu'à la bouche de soufflage.

**b. Réalisation d'un équilibrage :**

On insérant dans le conduit un diaphragme au début de chaque tronçon.

**c. Calcul des diaphragmes :**

Les données de base nécessaires à leur détermination sont les suivantes :

- La perte de charge  $\Delta H_s$  qu'il doit réaliser pour obtenir l'équilibrage du circuit.
- Les dimensions (diamètre ou section) de conduit à l'intérieur duquel le diaphragme doit être placé.
- La pression dynamique  $P_d$  à l'intérieur du tronçon.

La perte de charge singulière créée par le diaphragme à l'intérieur du tronçon est donnée par la relation suivante [3] :

$$\Delta H_s = \xi P_d \quad (\text{VIII-5})$$

$$\Delta H_s \text{ et } P_d \text{ Étant connus, on en déduit : } \quad \xi = \frac{\Delta H_s}{P_d} \quad (\text{VIII-6})$$

## VIII-8 Calcul des pertes de charges :

L'aile est :

| tronçon   | débit<br>Q<br>(m <sup>3</sup> /h) | vitesse<br>v<br>(m/s) | a<br>(mm) | b<br>(mm) | diamètre<br>equi<br>(mm) | J<br>(pa/m) | L<br>(m) | ξ   | ρ   | PI    | Ps      |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|--------------------------|-------------|----------|-----|-----|-------|---------|
| circuit 1 |                                   |                       |           |           |                          |             |          |     |     |       |         |
| 1         | 880                               | 5,5                   | 350       | 150       | 254                      | 1,5         | 3        | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660                               | 4,5                   | 300       | 150       | 229                      | 1,3         | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440                               | 4,3                   | 200       | 150       | 189                      | 1,3         | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220                               | 2,9                   | 150       | 150       | 164                      | 0,9         | 3        | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 2 |                                   |                       |           |           |                          |             |          |     |     |       |         |
| 1         | 880                               | 5,5                   | 350       | 150       | 254                      | 1,5         | 3        | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660                               | 4,5                   | 300       | 150       | 229                      | 1,3         | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440                               | 4,3                   | 200       | 150       | 189                      | 1,3         | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220                               | 2,9                   | 150       | 150       | 164                      | 0,9         | 3        | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 3 |                                   |                       |           |           |                          |             |          |     |     |       |         |
| 1         | 880                               | 5,5                   | 350       | 150       | 254                      | 1,5         | 3        | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660                               | 4,5                   | 300       | 150       | 229                      | 1,3         | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440                               | 4,3                   | 200       | 150       | 189                      | 1,3         | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220                               | 2,9                   | 150       | 150       | 164                      | 0,9         | 3        | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110                               | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22        | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |

| circuit 4 |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
|-----------|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-------|---------|
| 1         | 880 | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660 | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440 | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220 | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 5 |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
| 1         | 880 | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660 | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440 | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220 | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 6 |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
| 1         | 880 | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660 | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440 | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220 | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 7 |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
| 1         | 880 | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660 | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440 | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220 | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |

|                   |      |      |     |     |     |       |     |     |     |       |         |
|-------------------|------|------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|---------|
| bs2-3             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2            | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2            | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 8         |      |      |     |     |     |       |     |     |     |       |         |
| 1                 | 880  | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5   | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2                 | 660  | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3   | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3                 | 440  | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3   | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4                 | 220  | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9   | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2            | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2            | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 9         |      |      |     |     |     |       |     |     |     |       |         |
| 1                 | 880  | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5   | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2                 | 660  | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3   | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3                 | 440  | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3   | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4                 | 220  | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9   | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2            | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2            | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 10        |      |      |     |     |     |       |     |     |     |       |         |
| 1                 | 880  | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5   | 3   | 1,5 | 1,2 | 4,5   | 27,225  |
| 2                 | 660  | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3   | 3   | 1,5 | 1,2 | 3,9   | 18,225  |
| 3                 | 440  | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3   | 3   | 1,5 | 1,2 | 3,9   | 16,641  |
| 4                 | 220  | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9   | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4   | 1,38765 |
| bs2-4             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4   | 1,38765 |
| bs1-3             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4   | 1,38765 |
| bs2-3             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22  | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4   | 1,38765 |
| circuit principal |      |      |     |     |     |       |     |     |     |       |         |
| 1                 | 8360 | 6    | 850 | 450 | 700 | 0,475 | 8   | 3,8 | 1,2 | 3,8   | 82,08   |
| 2                 | 7920 | 6,6  | 800 | 450 | 650 | 0,6   | 12  | 2,9 | 1,2 | 7,2   | 75,7944 |
| 3                 | 6160 | 6    | 700 | 450 | 600 | 0,6   | 12  | 2,9 | 1,2 | 7,2   | 62,64   |
| 4                 | 4400 | 5    | 600 | 400 | 550 | 0,4   | 12  | 3   | 1,2 | 4,8   | 45      |
| 5                 | 2640 | 4,6  | 450 | 350 | 450 | 0,51  | 12  | 3,2 | 1,2 | 6,12  | 40,6272 |
| 6                 | 880  | 5    | 350 | 150 | 250 | 1,4   | 6   | 2,6 | 1,2 | 8,4   | 39      |

**L'aile ouest :**

| tronçon   | débit<br>Q<br>(m3/h) | vitesse<br>v<br>(m/s) | a<br>(mm) | b<br>(mm) | diamètre<br>equi<br>(mm) | J (pa/m) | L<br>(m) | ξ   | ρ   | PI    | Ps      |
|-----------|----------------------|-----------------------|-----------|-----------|--------------------------|----------|----------|-----|-----|-------|---------|
| 1         | 880                  | 5,5                   | 350       | 150       | 254                      | 1,5      | 3        | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660                  | 4,5                   | 300       | 150       | 229                      | 1,3      | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440                  | 4,3                   | 200       | 150       | 189                      | 1,3      | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220                  | 2,9                   | 150       | 150       | 164                      | 0,9      | 3        | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 1 |                      |                       |           |           |                          |          |          |     |     |       |         |
| 1         | 880                  | 5,5                   | 350       | 150       | 254                      | 1,5      | 3        | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660                  | 4,5                   | 300       | 150       | 229                      | 1,3      | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440                  | 4,3                   | 200       | 150       | 189                      | 1,3      | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220                  | 2,9                   | 150       | 150       | 164                      | 0,9      | 3        | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 2 |                      |                       |           |           |                          |          |          |     |     |       |         |
| 1         | 880                  | 5,5                   | 350       | 150       | 254                      | 1,5      | 3        | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660                  | 4,5                   | 300       | 150       | 229                      | 1,3      | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440                  | 4,3                   | 200       | 150       | 189                      | 1,3      | 3        | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220                  | 2,9                   | 150       | 150       | 164                      | 0,9      | 3        | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110                  | 1,45                  | 150       | 150       | 164                      | 0,22     | 1,9      | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |

|           |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
|-----------|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-------|---------|
| bs1-2     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 3 |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
| 1         | 880 | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660 | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440 | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220 | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 4 |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
| 1         | 880 | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660 | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440 | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220 | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 5 |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
| 1         | 880 | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660 | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440 | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220 | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 6 |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
|           |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       | s       |
| 1         | 880 | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660 | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440 | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |

|           |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
|-----------|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-------|---------|
| 4         | 220 | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 7 |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
| 1         | 880 | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660 | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440 | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220 | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 8 |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
| 1         | 880 | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 2,9 | 1,2 | 4,5   | 52,635  |
| 2         | 660 | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 35,235  |
| 3         | 440 | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 2,9 | 1,2 | 3,9   | 32,1726 |
| 4         | 220 | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs2-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-1-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs-2-2    | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-1     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| bs1-2     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,418 | 1,38765 |
| circuit 9 |     |      |     |     |     |      |     |     |     |       |         |
| 1         | 880 | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 1,5 | 1,2 | 4,5   | 27,225  |
| 2         | 660 | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 1,5 | 1,2 | 3,9   | 18,225  |
| 3         | 440 | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 1,5 | 1,2 | 3,9   | 16,641  |
| 4         | 220 | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7   | 7,0644  |
| bs1-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4   | 1,38765 |
| bs2-4     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4   | 1,38765 |
| bs1-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4   | 1,38765 |
| bs2-3     | 110 | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4   | 1,38765 |

| circuit 10        |      |      |     |     |     |      |     |     |     |      |         |
|-------------------|------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|---------|
| 1                 | 880  | 5,5  | 350 | 150 | 254 | 1,5  | 3   | 1,5 | 1,2 | 4,5  | 27,225  |
| 2                 | 660  | 4,5  | 300 | 150 | 229 | 1,3  | 3   | 1,5 | 1,2 | 3,9  | 18,225  |
| 3                 | 440  | 4,3  | 200 | 150 | 189 | 1,3  | 3   | 1,5 | 1,2 | 3,9  | 16,641  |
| 4                 | 220  | 2,9  | 150 | 150 | 164 | 0,9  | 3   | 1,4 | 1,2 | 2,7  | 7,0644  |
| bs1-4             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4  | 1,38765 |
| bs2-4             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4  | 1,38765 |
| bs1-3             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4  | 1,38765 |
| bs2-3             | 110  | 1,45 | 150 | 150 | 164 | 0,22 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 0,4  | 1,38765 |
| circuit principal |      |      |     |     |     |      |     |     |     |      |         |
| 1                 | 8800 | 6,35 | 850 | 450 | 700 | 0,6  | 8   | 3,8 | 1,2 | 4,8  | 91,9353 |
| 2                 | 8360 | 6    | 850 | 450 | 700 | 0,5  | 12  | 2,9 | 1,2 | 6    | 62,64   |
| 3                 | 6800 | 6,7  | 700 | 450 | 600 | 0,9  | 12  | 2,9 | 1,2 | 10,8 | 78,1086 |
| 4                 | 4840 | 5,7  | 600 | 400 | 550 | 0,6  | 12  | 3   | 1,2 | 7,2  | 58,482  |
| 5                 | 3080 | 5,4  | 450 | 400 | 450 | 0,6  | 12  | 3,2 | 1,2 | 7,2  | 55,9872 |
| 6                 | 1320 | 5,2  | 450 | 200 | 300 | 1    | 12  | 2,6 | 1,2 | 12   | 42,1824 |

**VIII-9 Dimensionnement du ventilateur de soufflage :**

La puissance minimale utile ou disponible :  $P_u = \Delta P \cdot q_{vm}$

Avec  $\Delta P_1 = 539.2116 Pa = \Delta H_{T1}$

$\Delta P_2 = 593.8855 Pa = \Delta H_{T2}$

$$P_{u1} = \frac{8360}{3600} \cdot 539.2116 = 1252.16916 Watt$$

$$P_{u2} = \frac{8800}{3600} \cdot 593.8855 = 1451.72011 Watt$$

Si on fixe le rendement de ce ventilateur à 80% on trouve la puissance fournie par le moteur.

$$P_F = \frac{P_u}{\eta}$$

Avec  $\eta$ : le rendement du moteur qu'on fixe à 80%

$$P_{F1} = 1565.21 Watt$$

$$P_{F2} = 1814.65 Wat$$

# ***Conclusion générale***

Notre projet a pour but de faire une étude thermique d'un hôtel situé la haute ville de TIZI OUZOU afin de satisfaire les conditions intérieures désirées en tenant compte des paramètres extérieurs du site.

Les systèmes de climatisations pour les chambres d'hôtel différent de ceux destinés aux bureaux de part de leur mode de fonctionnement principalement. Pour les bureaux, l'ensemble du bâtiment est occupé simultanément la plupart du temps, tandis que pour les chambres d'hôtels. Une partie de celles-ci est souvent vacante. L'occupation moyenne ne s'élève souvent qu'à 60%. Pour des raisons d'optimisation des frais d'exploitation, la mise hors circuit décentralisée du chauffage/refroidissement est préférable.

Par ailleurs, la durée de fonctionnement annuelle de la centrale de traitement de l'air n'est pas la même pour l'hôtel et les bureaux. Le système de climatisation est désactivé la nuit et les week-ends dans les bureaux (environ 3000 heures de service par an). En ce qui concerne le système de climatisation de l'hôtel en revanche, le conditionnement centralisé de l'air des chambres fonctionne en permanence (8760 heures de service par an).

Des systèmes différents ont été développés pour les hôtels, c'est le ventilo-convecteur ou conditionneur d'air autonome en raison de l'option de mise hors circuit décentralisée.

Les systèmes de climatisation pour les hôtels comportent généralement deux composants :

- Le dispositif de traitement centralisé de l'air alimente chaque chambre en air conditionné au moyen d'un dispositif de gaines. La construction de ces systèmes centralisés est identique à celle des modèles classiques et sont munis de filtres, batterie de chauffage, batterie de refroidissement, éventuellement d'humidificateurs et de ventilateurs. L'air est repris au-dessus de la salle de bain afin d'éliminer les odeurs.
- Un appareil décentralisé avec échangeurs de chaleur se trouve dans chaque chambre d'hôtel.

Pour le cas du RDC on a utilisé un système de climatisation mixte (air, eau) à quatre tubes qui est constitué d'une chaudière pour l'eau chaude en hiver et un groupe à eau glacée pour l'eau froide en été, qui alimentent les unités terminales (VC) et les radiateurs dans certains locaux.

Les efforts consentis, en vue de réaliser ce modeste travail, nous ont permis une acquisition de connaissances multiples dans différents domaines.

Enfin, on espère que ce projet soit d'un grand apport pour les promotions à venir.

**ANNEXE 1 : Table de sélection des radiateurs, et propriétés thermo-physique de l'eau à différentes températures**

| Type  | Hauteur mm | Largeur mm | Épaisseur mm | Poids Kg | Contenance en eau L | Puissance Watts |
|-------|------------|------------|--------------|----------|---------------------|-----------------|
| D4-65 | 600        | 60         | 144          | 5.3      | 0.85                | 87.4            |
| D4-75 | 700        | 60         | 144          | 5.9      | 0.97                | 101             |
| D4-95 | 899        | 60         | 144          | 7.5      | 1.10                | 128             |
| D4-48 | 422        | 60         | 221          | 5.8      | 0.85                | 93.5            |
| D4-65 | 600        | 60         | 221          | 7.7      | 1.20                | 127             |

| Désignation                       | Référence |
|-----------------------------------|-----------|
| Elément DUNE II - D4 x 600 (4/65) | C1B60040C |
| Elément DUNE II - D4 x 700 (4/75) | C1B70040C |
| Elément DUNE II - D4 x 899 (4/95) | C1B89940C |
| Elément DUNE II - D6 x 422 (6/48) | C1B42260C |
| Elément DUNE II - D6 x 600 (6/65) | C1B60060C |

Tableau A1.1 : Caractéristiques des radiateurs CHAPPEE DUNE II

**1. Propriétés thermo-physique de l'eau a différentes températures**

| T °C | $\rho$ (g.cm <sup>3</sup> ) | Cp (J/gK) | P <sub>sat</sub> (KPa) |
|------|-----------------------------|-----------|------------------------|
| 0    | 0,999 87                    | 4,2176    | 0,6113                 |
| 10   | 0,999 73                    | 4,1921    | 1,2281                 |
| 15   | 0,999 13                    |           |                        |
| 20   | 0,998 23                    | 4,1818    | 2,3388                 |
| 25   | 0,997 07                    |           |                        |
| 30   | 0,995 68                    | 4,1784    | 4,2455                 |
| 35   | 0,994 06                    |           |                        |
| 40   | 0,992 25                    | 4,1785    | 7,3814                 |
| 45   | 0,990 24                    |           |                        |
| 50   | 0,988 07                    | 4,1806    | 12,344                 |
| 55   | 0,985 72                    |           |                        |
| 60   | 0,983 23                    | 4,1843    | 19,932                 |
| 65   | 0,980 58                    |           |                        |
| 70   | 0,977 79                    | 4,1895    | 31,176                 |
| 75   |                             |           |                        |
| 80   | 0,971 82                    | 4,1963    | 47,373                 |
| 85   |                             |           |                        |
| 90   | 0,965 35                    | 4,205     | 70,117                 |
| 95   |                             |           |                        |
| 100  | 0,958 40                    | 4,2159    | 101,325                |

# ANNEXES

## ANNEXE 2 : Tables des pertes de charge des tuyaux en acier et filtre à tamis

|          |          | <i>r = pertes de charge linéiques, mm C.E./m</i> |             |             |           |               |               |           |               |           |           |           |           |          |          |  |
|----------|----------|--------------------------------------------------|-------------|-------------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|--|
|          |          | <i>G = débit, l/h</i>                            |             |             |           |               |               |           |               |           |           |           |           |          |          |  |
|          |          | <i>v = vitesse, m/s</i>                          |             |             |           |               |               |           |               |           |           |           |           |          |          |  |
| <i>r</i> | <i>Ø</i> | <i>3/8"</i>                                      | <i>1/2"</i> | <i>3/4"</i> | <i>1"</i> | <i>1 1/4"</i> | <i>1 1/2"</i> | <i>2"</i> | <i>2 1/2"</i> | <i>3"</i> | <i>4"</i> | <i>5"</i> | <i>6"</i> | <i>Ø</i> | <i>r</i> |  |
| 2        | G        | 49                                               | 97          | 208         | 383       | 802           | 1.204         | 2.267     | 4.516         | 6.924     | 14.015    | 24.582    | 39.720    | G        | 2        |  |
|          | v        | 0,11                                             | 0,13        | 0,15        | 0,18      | 0,22          | 0,24          | 0,28      | 0,34          | 0,38      | 0,45      | 0,52      | 0,59      | v        |          |  |
| 4        | G        | 71                                               | 140         | 301         | 555       | 1.162         | 1.744         | 3.285     | 6.542         | 10.030    | 20.304    | 35.612    | 57.542    | G        | 4        |  |
|          | v        | 0,16                                             | 0,18        | 0,22        | 0,26      | 0,32          | 0,35          | 0,41      | 0,49          | 0,54      | 0,65      | 0,75      | 0,85      | v        |          |  |
| 6        | G        | 88                                               | 174         | 374         | 690       | 1.444         | 2.166         | 4.080     | 8.126         | 12.459    | 25.220    | 44.235    | 71.474    | G        | 6        |  |
|          | v        | 0,19                                             | 0,23        | 0,28        | 0,32      | 0,39          | 0,43          | 0,51      | 0,61          | 0,68      | 0,81      | 0,93      | 1,05      | v        |          |  |
| 8        | G        | 103                                              | 203         | 436         | 804       | 1.684         | 2.526         | 4.758     | 9.477         | 14.531    | 29.414    | 51.591    | 83.361    | G        | 8        |  |
|          | v        | 0,22                                             | 0,27        | 0,32        | 0,38      | 0,46          | 0,51          | 0,59      | 0,71          | 0,79      | 0,94      | 1,09      | 1,23      | v        |          |  |
| 10       | G        | 115                                              | 229         | 491         | 906       | 1.897         | 2.846         | 5.362     | 10.678        | 16.372    | 33.142    | 58.130    | 93.926    | G        | 10       |  |
|          | v        | 0,25                                             | 0,30        | 0,37        | 0,43      | 0,51          | 0,57          | 0,67      | 0,80          | 0,89      | 1,06      | 1,23      | 1,38      | v        |          |  |
| 12       | G        | 127                                              | 253         | 541         | 999       | 2.091         | 3.138         | 5.911     | 11.771        | 18.049    | 36.536    | 64.083    | 103.545   | G        | 12       |  |
|          | v        | 0,28                                             | 0,33        | 0,40        | 0,47      | 0,57          | 0,63          | 0,74      | 0,88          | 0,98      | 1,17      | 1,35      | 1,53      | v        |          |  |
| 14       | G        | 138                                              | 274         | 588         | 1.085     | 2.271         | 3.407         | 6.418     | 12.783        | 19.600    | 39.676    | 69.589    | 112.442   | G        | 14       |  |
|          | v        | 0,30                                             | 0,36        | 0,44        | 0,51      | 0,62          | 0,68          | 0,80      | 0,96          | 1,06      | 1,27      | 1,47      | 1,66      | v        |          |  |
| 16       | G        | 149                                              | 295         | 632         | 1.165     | 2.439         | 3.659         | 6.894     | 13.729        | 21.051    | 42.612    | 74.740    | 120.765   | G        | 16       |  |
|          | v        | 0,33                                             | 0,39        | 0,47        | 0,55      | 0,66          | 0,73          | 0,86      | 1,03          | 1,14      | 1,37      | 1,58      | 1,78      | v        |          |  |
| 18       | G        | 158                                              | 314         | 673         | 1.241     | 2.598         | 3.897         | 7.342     | 14.622        | 22.419    | 45.383    | 79.599    | 128.616   | G        | 18       |  |
|          | v        | 0,35                                             | 0,41        | 0,50        | 0,58      | 0,71          | 0,78          | 0,92      | 1,09          | 1,22      | 1,46      | 1,68      | 1,90      | v        |          |  |
| 20       | G        | 167                                              | 332         | 712         | 1.313     | 2.748         | 4.123         | 7.767     | 15.469        | 23.719    | 48.013    | 84.212    | 136.071   | G        | 20       |  |
|          | v        | 0,37                                             | 0,44        | 0,53        | 0,62      | 0,75          | 0,83          | 0,97      | 1,16          | 1,29      | 1,54      | 1,78      | 2,01      | v        |          |  |
| 22       | G        | 176                                              | 349         | 749         | 1.382     | 2.892         | 4.339         | 8.173     | 16.278        | 24.959    | 50.524    | 88.616    | 143.186   | G        | 22       |  |
|          | v        | 0,39                                             | 0,46        | 0,56        | 0,65      | 0,78          | 0,87          | 1,02      | 1,22          | 1,36      | 1,62      | 1,87      | 2,11      | v        |          |  |
| 24       | G        | 184                                              | 366         | 784         | 1.447     | 3.030         | 4.545         | 8.563     | 17.053        | 26.148    | 52.930    | 92.837    | 150.006   | G        | 24       |  |
|          | v        | 0,40                                             | 0,48        | 0,58        | 0,68      | 0,82          | 0,91          | 1,07      | 1,27          | 1,42      | 1,70      | 1,96      | 2,21      | v        |          |  |
| 26       | G        | 193                                              | 382         | 819         | 1.511     | 3.162         | 4.744         | 8.937     | 17.799        | 27.291    | 55.245    | 96.897    | 156.566   | G        | 26       |  |
|          | v        | 0,42                                             | 0,50        | 0,61        | 0,71      | 0,86          | 0,95          | 1,12      | 1,33          | 1,48      | 1,77      | 2,04      | 2,31      | v        |          |  |
| 28       | G        | 200                                              | 397         | 852         | 1.572     | 3.290         | 4.936         | 9.298     | 18.519        | 28.394    | 57.478    | 100.814   | 162.895   | G        | 28       |  |
|          | v        | 0,44                                             | 0,52        | 0,63        | 0,74      | 0,89          | 0,99          | 1,16      | 1,38          | 1,54      | 1,84      | 2,13      | 2,40      | v        |          |  |
| 30       | G        | 208                                              | 412         | 884         | 1.631     | 3.414         | 5.121         | 9.648     | 19.215        | 29.462    | 59.638    | 104.603   | 169.017   | G        | 30       |  |
|          | v        | 0,46                                             | 0,54        | 0,66        | 0,77      | 0,93          | 1,03          | 1,21      | 1,44          | 1,60      | 1,91      | 2,21      | 2,49      | v        |          |  |
| 35       | G        | 226                                              | 448         | 960         | 1.771     | 3.707         | 5.561         | 10.477    | 20.866        | 31.993    | 64.763    | 113.591   | 183.540   | G        | 35       |  |
|          | v        | 0,49                                             | 0,59        | 0,71        | 0,83      | 1,01          | 1,12          | 1,31      | 1,56          | 1,74      | 2,08      | 2,40      | 2,71      | v        |          |  |
| 40       | G        | 242                                              | 481         | 1.031       | 1.902     | 3.982         | 5.973         | 11.252    | 22.410        | 34.361    | 69.556    | 121.999   | 197.126   | G        | 40       |  |
|          | v        | 0,53                                             | 0,63        | 0,77        | 0,90      | 1,08          | 1,20          | 1,41      | 1,67          | 1,87      | 2,23      | 2,57      | 2,91      | v        |          |  |
| 45       | G        | 258                                              | 512         | 1.098       | 2.026     | 4.241         | 6.361         | 11.984    | 23.867        | 36.595    | 74.078    | 129.930   | 209.941   | G        | 45       |  |
|          | v        | 0,57                                             | 0,67        | 0,82        | 0,95      | 1,15          | 1,28          | 1,50      | 1,78          | 1,99      | 2,38      | 2,74      | 3,09      | v        |          |  |
| 50       | G        | 273                                              | 542         | 1.162       | 2.143     | 4.486         | 6.730         | 12.679    | 25.250        | 38.716    | 78.372    | 137.461   | 222.109   | G        | 50       |  |
|          | v        | 0,60                                             | 0,71        | 0,86        | 1,01      | 1,22          | 1,35          | 1,58      | 1,89          | 2,10      | 2,51      | 2,90      | 3,27      | v        |          |  |
| 60       | G        | 301                                              | 597         | 1.280       | 2.363     | 4.946         | 7.419         | 13.977    | 27.836        | 42.681    | 86.398    | 151.538   | 244.855   | G        | 60       |  |
|          | v        | 0,66                                             | 0,79        | 0,95        | 1,11      | 1,34          | 1,49          | 1,75      | 2,08          | 2,32      | 2,77      | 3,20      | 3,61      | v        |          |  |
| 70       | G        | 327                                              | 649         | 1.390       | 2.566     | 5.371         | 8.057         | 15.178    | 30.228        | 46.348    | 93.822    | 164.559   | 265.895   | G        | 70       |  |
|          | v        | 0,72                                             | 0,85        | 1,03        | 1,21      | 1,46          | 1,62          | 1,90      | 2,26          | 2,52      | 3,01      | 3,47      | 3,92      | v        |          |  |
| 80       | G        | 351                                              | 697         | 1.493       | 2.755     | 5.768         | 8.653         | 16.301    | 32.466        | 49.779    | 100.766   | 176.739   | 285.576   | G        | 80       |  |
|          | v        | 0,77                                             | 0,92        | 1,11        | 1,30      | 1,57          | 1,73          | 2,04      | 2,43          | 2,70      | 3,23      | 3,73      | 4,21      | v        |          |  |
| 90       | G        | 374                                              | 742         | 1.590       | 2.935     | 6.143         | 9.216         | 17.361    | 34.576        | 53.015    | 107.317   | 188.230   | 304.142   | G        | 90       |  |
|          | v        | 0,82                                             | 0,98        | 1,18        | 1,38      | 1,67          | 1,85          | 2,17      | 2,58          | 2,88      | 3,44      | 3,97      | 4,48      | v        |          |  |
| 100      | G        | 396                                              | 785         | 1.683       | 3.105     | 6.499         | 9.750         | 18.367    | 36.580        | 56.088    | 113.537   | 199.139   | 321.770   | G        | 100      |  |
|          | v        | 0,87                                             | 1,03        | 1,25        | 1,46      | 1,76          | 1,95          | 2,30      | 2,73          | 3,05      | 3,64      | 4,20      | 4,74      | v        |          |  |

Table A2.1 : Abaque de perte de charge linéique, tube acier  $T_e = 80^\circ\text{C}$

# ANNEXES

|                                                  |             | Diamètre du tube acier inox, cuivre ou plastique                                    |            |             |         |     |
|--------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|---------|-----|
|                                                  |             | 8 + 16 mm                                                                           | 18 + 28 mm | 30 + 54 mm  | > 54 mm |     |
|                                                  |             | Diamètre du tube acier                                                              |            |             |         |     |
|                                                  |             | 3/8" + 1/2"                                                                         | 3/4" + 1"  | 1 1/4" + 2" | > 2"    |     |
| Type de résistance singulière                    |             | Symbole                                                                             |            |             |         |     |
| Coude serré à 90°                                | $r/d = 1,5$ |    | 2,0        | 1,5         | 1,0     | 0,8 |
| Coude normal à 90°                               | $r/d = 2,5$ |    | 1,5        | 1,0         | 0,5     | 0,4 |
| Coude large à 90°                                | $r/d > 3,5$ |    | 1,0        | 0,5         | 0,3     | 0,3 |
| Coude serré en U                                 | $r/d = 1,5$ |    | 2,5        | 2,0         | 1,5     | 1,0 |
| Coude normal en U                                | $r/d = 2,5$ |    | 2,0        | 1,5         | 0,8     | 0,5 |
| Coude large en U                                 | $r/d > 3,5$ |    | 1,5        | 0,8         | 0,4     | 0,4 |
| Élargissement                                    |             |    | 1,0        |             |         |     |
| Restriction                                      |             |  | 0,5        |             |         |     |
| Dérivation simple avec T équerre                 |             |  | 1,0        |             |         |     |
| Jonction simple avec T équerre                   |             |  | 1,0        |             |         |     |
| Dérivation double avec T équerre                 |             |  | 3,0        |             |         |     |
| Jonction double avec T équerre                   |             |  | 3,0        |             |         |     |
| Dérivation simple avec angle incliné (45° - 60°) |             |  | 0,5        |             |         |     |
| Jonction simple avec angle incliné (45° - 60°)   |             |  | 0,5        |             |         |     |
| Dérivation avec amorce                           |             |  | 2,0        |             |         |     |
| Jonction avec amorce                             |             |  | 2,0        |             |         |     |

Table A2.2 : Valeurs des coefficients de perte de charge singulière du réseau de la tuyauterie

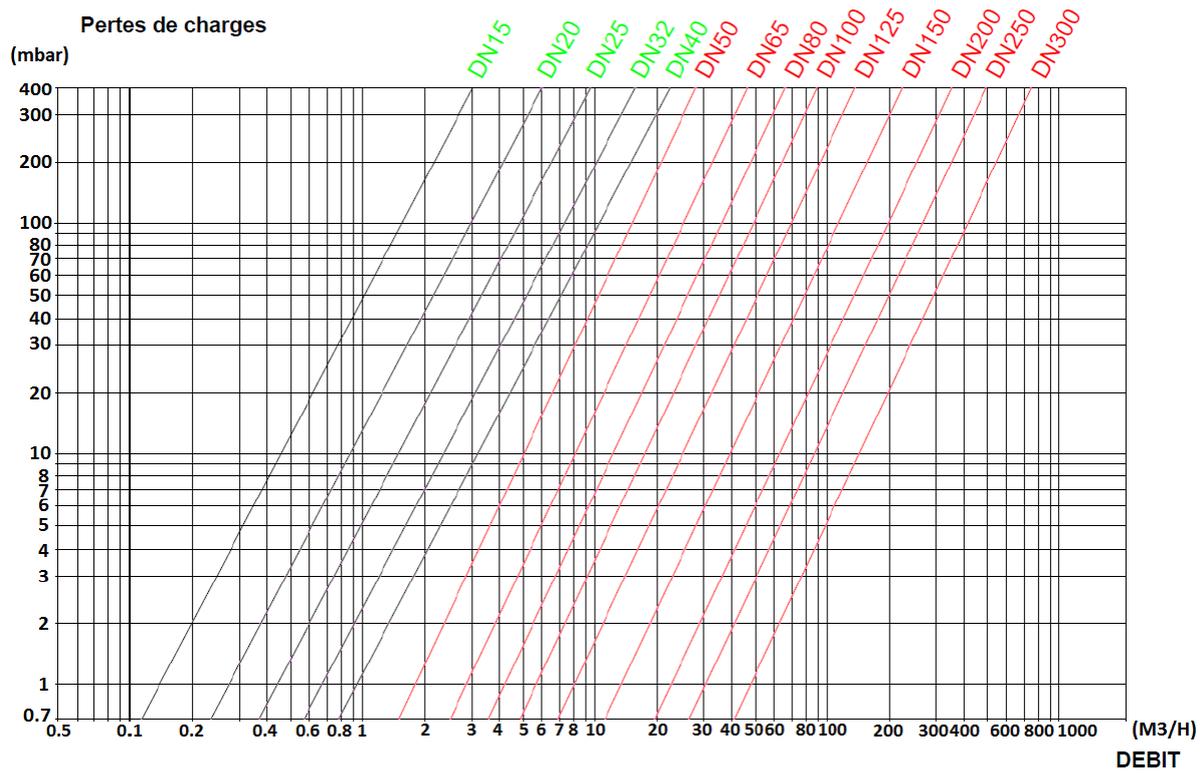


Figure A2.3 : Diagramme de perte de charge du filtre a tamis DN 15-300 (SFERACO)

**ANNEXE 3 : Contenance en eau des tubes en acier, et coefficients de dilatation de l'eau à différentes températures**

| <b>Tuyaux en acier</b> |        |                                |
|------------------------|--------|--------------------------------|
| <b>Diamètre</b>        |        | <b>Contenance en eau [l/m]</b> |
| DN10                   | 3/8"   | 0,1227                         |
| DN15                   | 1/2"   | 0,2011                         |
| DN20                   | 3/4"   | 0,3664                         |
| DN25                   | 1"     | 0,5811                         |
| DN32                   | 5/4"   | 1,0122                         |
| DN40                   | 6/4"   | 1,3723                         |
| DN50                   | 2"     | 2,3328                         |
| DN65                   | 2 1/2" | 3,8815                         |
| DN80                   | 3"     | 5,3456                         |
| DN100                  | 4"     | 9,0088                         |
| DN125                  | 5"     | 13,6226                        |
| DN150                  | 6"     | 19,9306                        |

Tableau A3.1 : Contenance en eau des tubes en acier

| <b>TEMPERATURE °C</b> | <b>COEFFICIENT DE DILATATION DE L'EAU</b> |
|-----------------------|-------------------------------------------|
| 10 °C                 | <b>0,000272</b>                           |
| 20 °C                 | <b>0,00177</b>                            |
| 30 °C                 | <b>0,004343</b>                           |
| 40 °C                 | <b>0,00781</b>                            |
| 50 °C                 | <b>0,00781</b>                            |
| 60 °C                 | <b>0,01698</b>                            |
| 70 °C                 | <b>0,023</b>                              |
| 80 °C                 | <b>0,02899</b>                            |
| 90 °C                 | <b>0,0359</b>                             |
| 100 °C                | <b>0,043312</b>                           |
| 110 °C                | <b>0,0515</b>                             |
| 120 °C                | <b>0,061</b>                              |

Tableau A3.2 : coefficients de dilatation de l'eau à différentes températures

ANNEXE 4 : Caractéristiques des pompes de circulation

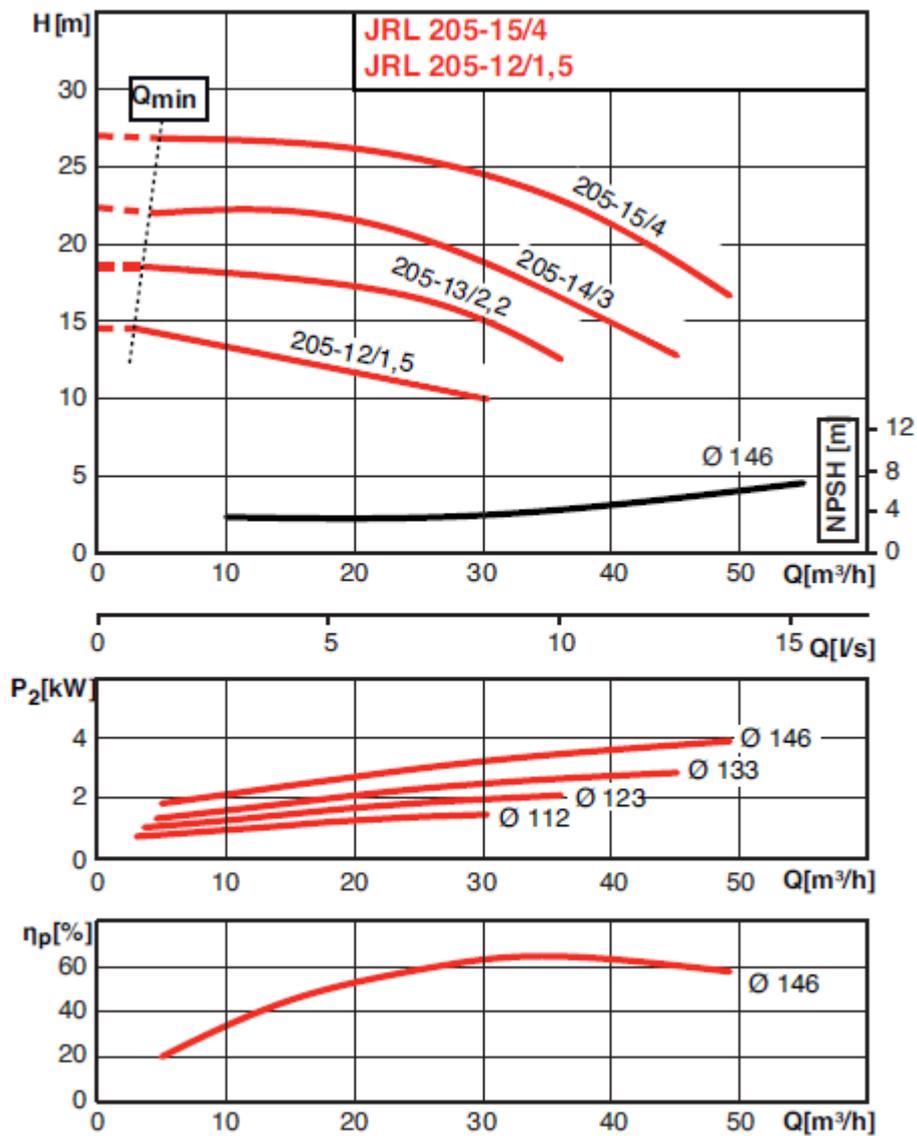


Figure A4.1 : Courbe caractéristique pour le choix des pompes SALMSON

| RÉFÉRENCE<br>COMMANDE | MOTEUR               |                                     |                               |                                      |      | POMPE |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |       |
|-----------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|
|                       | Rend.<br>moteur<br>% | Facteur<br>de<br>puissance<br>cos φ | Vitesse<br>nominale<br>tr/min | Courant<br>nominal<br>(env.)<br>en A |      | DN    | I0  | m   | I1  | a   | bmax | b1  | b2  | p1  | Øg  | x   | c   | e   | f   | o   | p  | masse |
|                       | P2<br>W              | η                                   |                               |                                      |      | mm    | mm  | mm  | mm  | mm  | mm   | mm  | mm  | mm  | mm  | mm  | mm  | mm  | mm  | mm  | mm | mm    |
| LRL403-10.5/0.12      | 120                  | 89,7                                | 0,72                          | 1450                                 | 0,34 | 32    | 260 | 130 | 295 | 70  | 190  | 94  | 96  | 120 | 141 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 18,0  |
| LRL403-13.5/0.25      | 250                  | 74,0                                | 0,70                          | 1450                                 | 0,69 | 32    | 260 | 130 | 295 | 70  | 190  | 94  | 96  | 120 | 141 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 18,5  |
| LRL404-08/0.09        | 90                   | 87,9                                | 0,73                          | 1450                                 | 0,26 | 40    | 250 | 125 | 272 | 65  | 146  | 68  | 78  | 107 | 125 | 150 | 0   | 110 | 110 | M10 | 20 | 14,1  |
| LRL404-11/0.12        | 120                  | 89,7                                | 0,72                          | 1450                                 | 0,34 | 40    | 250 | 125 | 294 | 65  | 170  | 80  | 90  | 120 | 141 | 150 | 0   | 110 | 110 | M10 | 20 | 18,1  |
| LRL404-13/0.25        | 250                  | 74,0                                | 0,70                          | 1450                                 | 0,69 | 40    | 320 | 160 | 291 | 75  | 234  | 113 | 121 | 120 | 141 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 21,0  |
| LRL404-15/0.37        | 370                  | 76,1                                | 0,71                          | 1450                                 | 1,06 | 40    | 320 | 160 | 291 | 75  | 234  | 113 | 121 | 120 | 141 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 22,2  |
| LRL405-10.5/0.12      | 120                  | 89,7                                | 0,72                          | 1450                                 | 0,34 | 50    | 280 | 140 | 295 | 75  | 188  | 87  | 101 | 120 | 141 | 150 | 0   | 125 | 125 | M10 | 20 | 19,7  |
| LRL405-12/0.25        | 250                  | 74,0                                | 0,70                          | 1450                                 | 0,69 | 50    | 340 | 170 | 293 | 86  | 247  | 116 | 131 | 120 | 141 | 150 | 104 | 40  | 50  | M10 | 20 | 24,0  |
| LRL405-13/0.37        | 370                  | 76,1                                | 0,71                          | 1450                                 | 1,06 | 50    | 340 | 170 | 293 | 86  | 247  | 116 | 131 | 120 | 141 | 150 | 104 | 40  | 50  | M10 | 20 | 25,2  |
| LRL405-15/0.55        | 550                  | 78,1                                | 0,71                          | 1450                                 | 1,45 | 50    | 340 | 170 | 327 | 86  | 247  | 116 | 131 | 128 | 185 | 150 | 104 | 40  | 50  | M10 | 20 | 29,0  |
| LRL406-11/0.25        | 250                  | 74,0                                | 0,70                          | 1450                                 | 0,69 | 65    | 340 | 162 | 297 | 93  | 243  | 111 | 132 | 120 | 141 | 150 | 135 | 32  | 63  | M10 | 20 | 26,2  |
| LRL406-12/0.37        | 370                  | 76,1                                | 0,71                          | 1450                                 | 1,06 | 65    | 340 | 162 | 297 | 93  | 243  | 111 | 132 | 120 | 141 | 150 | 135 | 32  | 63  | M10 | 20 | 27,0  |
| LRL406-13/0.55        | 550                  | 78,1                                | 0,71                          | 1450                                 | 1,45 | 65    | 340 | 162 | 331 | 93  | 243  | 111 | 132 | 128 | 185 | 150 | 135 | 32  | 63  | M10 | 20 | 31,2  |
| LRL408-12/0.55        | 550                  | 78,1                                | 0,71                          | 1450                                 | 1,45 | 80    | 360 | 180 | 339 | 105 | 282  | 125 | 157 | 128 | 185 | 150 | 135 | 40  | 55  | M10 | 20 | 37,3  |
| LRL408-12.5/0.75      | 750                  | 80,7                                | 0,81                          | 1450                                 | 1,70 | 80    | 360 | 180 | 339 | 105 | 282  | 125 | 157 | 128 | 146 | 150 | 135 | 40  | 55  | M10 | 20 | 37,3  |
| LRL408-14/1.1         | 1100                 | 82,7                                | 0,80                          | 1450                                 | 2,40 | 80    | 360 | 180 | 372 | 105 | 282  | 125 | 157 | 128 | 185 | 150 | 135 | 40  | 55  | M10 | 20 | 42,3  |
| LRL203-08.5/0.37      | 370                  | 72,8                                | 0,76                          | 2900                                 | 0,95 | 32    | 260 | 130 | 319 | 70  | 190  | 94  | 96  | 121 | 141 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 19,2  |
| LRL203-09.5/0.55      | 550                  | 75,5                                | 0,82                          | 2900                                 | 1,34 | 32    | 260 | 130 | 319 | 70  | 190  | 94  | 96  | 121 | 141 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 21,5  |
| LRL203-10.5/0.75      | 750                  | 80,7                                | 0,81                          | 2900                                 | 1,70 | 32    | 260 | 130 | 339 | 70  | 190  | 94  | 96  | 128 | 185 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 24,0  |
| LRL203-12.5/1.1       | 1100                 | 82,7                                | 0,80                          | 2900                                 | 2,40 | 32    | 260 | 130 | 339 | 70  | 190  | 94  | 96  | 128 | 185 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 24,6  |
| LRL203-13.5/1.1       | 1100                 | 82,7                                | 0,80                          | 2900                                 | 2,40 | 32    | 260 | 130 | 339 | 70  | 190  | 94  | 96  | 128 | 185 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 24,6  |
| LRL203-13.5/1.5       | 1500                 | 84,2                                | 0,81                          | 2900                                 | 3,20 | 32    | 260 | 130 | 377 | 70  | 193  | 94  | 96  | 151 | 193 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 27,0  |
| LRL204-07.5/0.12      | 120                  | 64,0                                | 0,75                          | 2900                                 | 0,33 | 40    | 250 | 125 | 292 | 65  | 170  | 80  | 90  | 119 | 141 | 150 | 0   | 110 | 110 | M10 | 20 | 18,1  |
| LRL204-09/0.37        | 370                  | 72,8                                | 0,76                          | 2900                                 | 0,95 | 40    | 250 | 125 | 320 | 65  | 170  | 80  | 90  | 121 | 141 | 150 | 0   | 110 | 110 | M10 | 20 | 19,0  |
| LRL204-11/0.55        | 550                  | 75,5                                | 0,82                          | 2900                                 | 1,34 | 40    | 250 | 125 | 320 | 65  | 170  | 80  | 90  | 121 | 141 | 150 | 0   | 110 | 110 | M10 | 20 | 20,1  |
| LRL204-12/1.5         | 1500                 | 84,2                                | 0,81                          | 2900                                 | 3,20 | 40    | 320 | 160 | 374 | 75  | 234  | 113 | 121 | 150 | 193 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 29,5  |
| LRL204-13/2.2         | 2200                 | 85,9                                | 0,81                          | 2900                                 | 4,50 | 40    | 320 | 160 | 374 | 75  | 234  | 113 | 121 | 150 | 193 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 31,5  |
| LRL204-15/3           | 3000                 | 87,1                                | 0,79                          | 2900                                 | 6,15 | 40    | 320 | 160 | 408 | 75  | 234  | 113 | 121 | 170 | 217 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 37,8  |
| LRL204-16/4           | 4000                 | 88,1                                | 0,83                          | 2900                                 | 7,75 | 40    | 320 | 160 | 440 | 75  | 234  | 113 | 121 | 175 | 232 | 150 | 90  | 40  | 50  | M10 | 20 | 45,7  |
| LRL205-09.5/0.55      | 550                  | 75,5                                | 0,82                          | 2900                                 | 1,34 | 50    | 280 | 140 | 323 | 75  | 188  | 87  | 101 | 121 | 141 | 150 | 0   | 125 | 125 | M10 | 20 | 21,7  |
| LRL205-10.5/0.75      | 750                  | 80,7                                | 0,81                          | 2900                                 | 1,70 | 50    | 280 | 140 | 343 | 75  | 188  | 87  | 101 | 128 | 146 | 150 | 0   | 125 | 125 | M10 | 20 | 25,7  |
| LRL205-12/1.5         | 1500                 | 84,2                                | 0,81                          | 2900                                 | 3,20 | 50    | 340 | 170 | 376 | 86  | 247  | 116 | 131 | 150 | 193 | 150 | 104 | 40  | 50  | M10 | 20 | 32,5  |
| LRL205-13/2.2         | 2200                 | 85,9                                | 0,81                          | 2900                                 | 4,50 | 50    | 340 | 170 | 376 | 86  | 247  | 116 | 131 | 150 | 193 | 150 | 104 | 40  | 50  | M10 | 20 | 34,5  |
| LRL205-14/3           | 3000                 | 87,1                                | 0,79                          | 2900                                 | 6,15 | 50    | 340 | 170 | 410 | 86  | 247  | 116 | 131 | 170 | 217 | 150 | 104 | 40  | 50  | M10 | 20 | 40,6  |
| LRL205-15/4           | 4000                 | 88,1                                | 0,83                          | 2900                                 | 7,75 | 50    | 340 | 170 | 442 | 86  | 247  | 116 | 131 | 175 | 232 | 150 | 104 | 40  | 50  | M10 | 20 | 48,7  |
| LRL206-12/1.5         | 1500                 | 84,2                                | 0,81                          | 2900                                 | 3,20 | 65    | 340 | 170 | 387 | 80  | 218  | 100 | 118 | 151 | 193 | 150 | 0   | 155 | 155 | M10 | 20 | 34,6  |
| LRL206-11/2.2         | 2200                 | 85,9                                | 0,81                          | 2900                                 | 4,50 | 65    | 340 | 162 | 380 | 93  | 243  | 111 | 132 | 151 | 193 | 150 | 135 | 32  | 63  | M10 | 20 | 36,7  |
| LRL206-12/3           | 3000                 | 87,1                                | 0,79                          | 2900                                 | 6,15 | 65    | 340 | 162 | 414 | 93  | 243  | 111 | 132 | 170 | 217 | 150 | 135 | 32  | 63  | M10 | 20 | 42,8  |
| LRL206-13/4           | 4000                 | 88,1                                | 0,83                          | 2900                                 | 7,75 | 65    | 340 | 162 | 446 | 93  | 243  | 111 | 132 | 175 | 232 | 150 | 135 | 32  | 63  | M10 | 20 | 50,9  |
| LRL208-12/2.2         | 2200                 | 85,9                                | 0,81                          | 2900                                 | 4,50 | 80    | 360 | 180 | 389 | 98  | 245  | 110 | 135 | 151 | 193 | 150 | 0   | 165 | 165 | M10 | 20 | 41,5  |
| LRL208-10.5/3         | 3000                 | 87,1                                | 0,89                          | 2900                                 | 5,60 | 80    | 360 | 180 | 422 | 105 | 282  | 125 | 157 | 160 | 217 | 150 | 135 | 40  | 55  | M10 | 20 | 48,4  |
| LRL208-11/4           | 4000                 | 88,1                                | 0,87                          | 2900                                 | 7,40 | 80    | 360 | 180 | 453 | 105 | 282  | 125 | 157 | 168 | 232 | 150 | 135 | 40  | 55  | M10 | 20 | 56,5  |

Tableau A4.1 : Caractéristique des pompes SALMSON

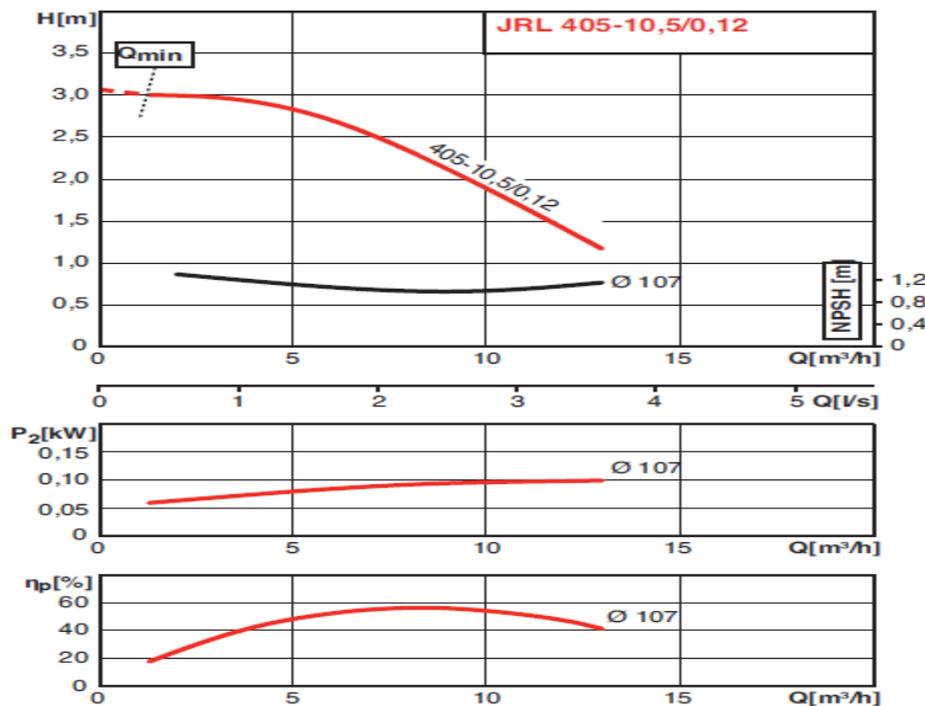


Figure A4.2 : Courbe caractéristique pour le choix des pompes Salmson

**ANNEXE 5: Tables de choix du vase d'expansion et de la chaudière**

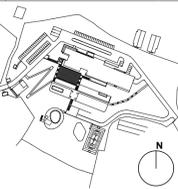
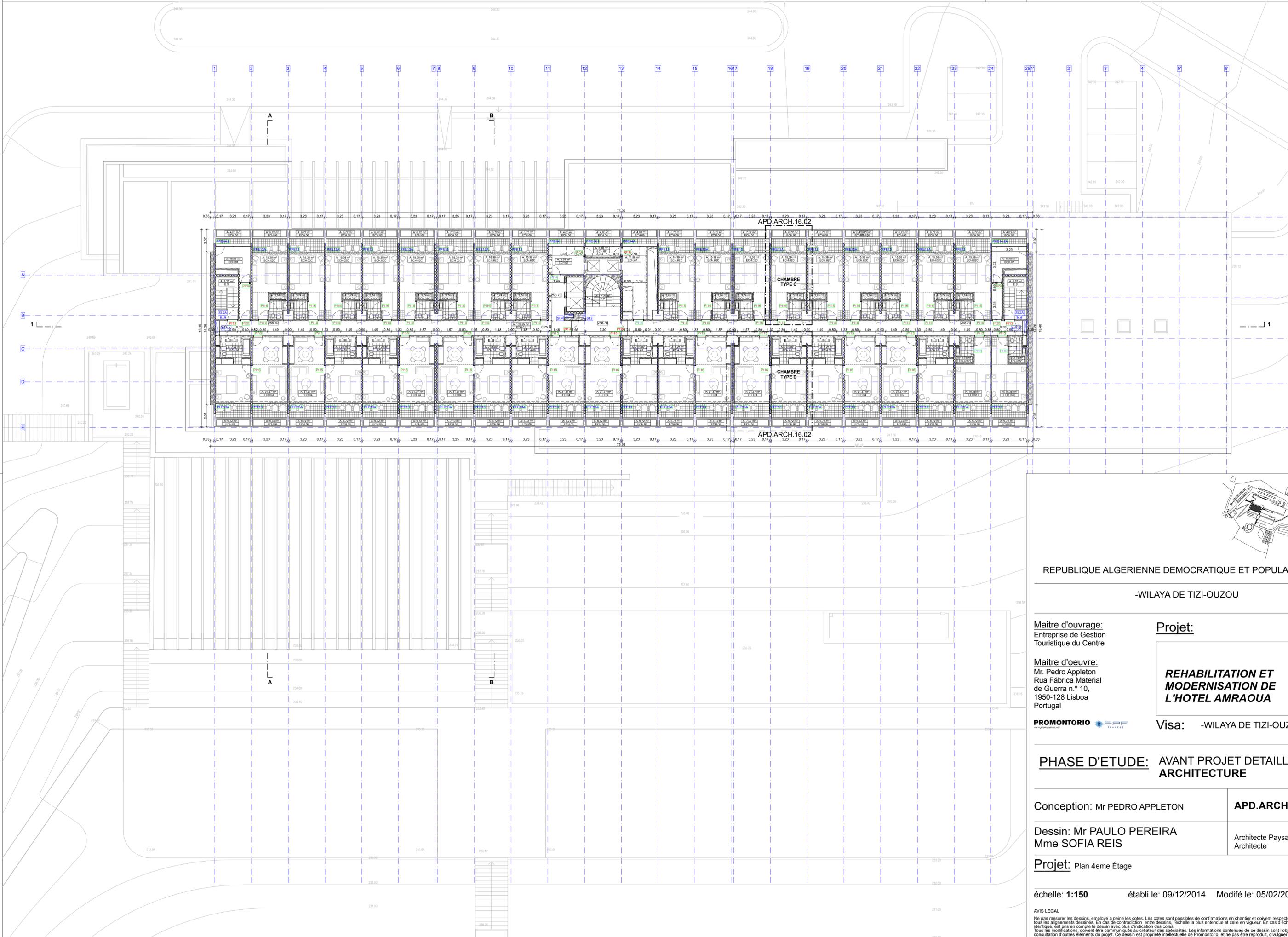
| <b>Exécutions et dimensions des vases Flexcon de 10 bar</b> |                              |                  |      |     |                           |             |       |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------|------|-----|---------------------------|-------------|-------|
| Type                                                        | Pression de gonflage en bars | Dimensions en mm |      |     | Raccord (filetage ext.) D | Poids en kg | Code  |
|                                                             |                              | ØA               | B    | ØC  |                           |             |       |
| Flexcon 110                                                 | 0,5                          | 484              | 784  | 360 | 1"                        | 38,5        | 16101 |
| Flexcon 110                                                 | 1,0                          | 484              | 784  | 360 | 1"                        | 38,5        | 16102 |
| Flexcon 110                                                 | 1,5                          | 484              | 784  | 360 | 1"                        | 38,5        | 16103 |
| Flexcon 110                                                 | 2,0                          | 484              | 784  | 360 | 1"                        | 38,5        | 16104 |
| Flexcon 110                                                 | 2,5                          | 484              | 784  | 360 | 1"                        | 38,5        | 16105 |
| Flexcon 110                                                 | 3,0                          | 484              | 784  | 360 | 1"                        | 38,5        | 16106 |
| Flexcon 110                                                 | *                            | 484              | 784  | 360 | 1"                        | 38,5        | 16100 |
| Flexcon 140                                                 | 0,5                          | 484              | 950  | 360 | 1"                        | 44,6        | 16131 |
| Flexcon 140                                                 | 1,0                          | 484              | 950  | 360 | 1"                        | 44,6        | 16132 |
| Flexcon 140                                                 | 1,5                          | 484              | 950  | 360 | 1"                        | 44,6        | 16133 |
| Flexcon 140                                                 | 2,0                          | 484              | 950  | 360 | 1"                        | 44,6        | 16134 |
| Flexcon 140                                                 | 2,5                          | 484              | 950  | 360 | 1"                        | 44,6        | 16135 |
| Flexcon 140                                                 | 3,0                          | 484              | 950  | 360 | 1"                        | 44,6        | 16136 |
| Flexcon 140                                                 | *                            | 484              | 950  | 360 | 1"                        | 44,6        | 16130 |
| Flexcon 200                                                 | 0,5                          | 600              | 960  | 450 | 1"                        | 49,3        | 16191 |
| Flexcon 200                                                 | 1,0                          | 600              | 960  | 450 | 1"                        | 49,3        | 16192 |
| Flexcon 200                                                 | 1,5                          | 600              | 960  | 450 | 1"                        | 49,3        | 16193 |
| Flexcon 200                                                 | 2,0                          | 600              | 960  | 450 | 1"                        | 49,3        | 16194 |
| Flexcon 200                                                 | 2,5                          | 600              | 960  | 450 | 1"                        | 49,3        | 16195 |
| Flexcon 200                                                 | 3,0                          | 600              | 960  | 450 | 1"                        | 49,3        | 16196 |
| Flexcon 200                                                 | *                            | 600              | 960  | 450 | 1"                        | 49,3        | 16190 |
| Flexcon 300                                                 | 0,5                          | 600              | 1330 | 450 | 1"                        | 73,7        | 16291 |
| Flexcon 300                                                 | 1,0                          | 600              | 1330 | 450 | 1"                        | 73,7        | 16292 |
| Flexcon 300                                                 | 1,5                          | 600              | 1330 | 450 | 1"                        | 73,7        | 16293 |
| Flexcon 300                                                 | 2,0                          | 600              | 1330 | 450 | 1"                        | 73,7        | 16294 |
| Flexcon 300                                                 | 2,5                          | 600              | 1330 | 450 | 1"                        | 73,7        | 16295 |
| Flexcon 300                                                 | 3,0                          | 600              | 1330 | 450 | 1"                        | 73,7        | 16296 |
| Flexcon 300                                                 | *                            | 600              | 1330 | 450 | 1"                        | 73,7        | 16290 |
| Flexcon 425                                                 | 0,5                          | 790              | 1180 | 610 | 1"                        | 105,5       | 16411 |
| Flexcon 425                                                 | 1,0                          | 790              | 1180 | 610 | 1"                        | 105,5       | 16412 |
| Flexcon 425                                                 | 1,5                          | 790              | 1180 | 610 | 1"                        | 105,5       | 16413 |
| Flexcon 425                                                 | 2,0                          | 790              | 1180 | 610 | 1"                        | 105,5       | 16414 |
| Flexcon 425                                                 | 2,5                          | 790              | 1180 | 610 | 1"                        | 105,5       | 16415 |
| Flexcon 425                                                 | 3,0                          | 790              | 1180 | 610 | 1"                        | 105,5       | 16416 |
| Flexcon 425                                                 | *                            | 790              | 1180 | 610 | 1"                        | 105,5       | 16410 |
| Flexcon 600                                                 | 0,5                          | 790              | 1540 | 610 | 1"                        | 132,0       | 16591 |
| Flexcon 600                                                 | 1,0                          | 790              | 1540 | 610 | 1"                        | 132,0       | 16592 |
| Flexcon 600                                                 | 1,5                          | 790              | 1540 | 610 | 1"                        | 132,0       | 16593 |
| Flexcon 600                                                 | 2,0                          | 790              | 1540 | 610 | 1"                        | 132,0       | 16594 |
| Flexcon 600                                                 | 2,5                          | 790              | 1540 | 610 | 1"                        | 132,0       | 16595 |
| Flexcon 600                                                 | 3,0                          | 790              | 1540 | 610 | 1"                        | 132,0       | 16596 |
| Flexcon 600                                                 | *                            | 790              | 1540 | 610 | 1"                        | 132,0       | 16590 |
| Flexcon 800                                                 | 0,5                          | 790              | 1890 | 610 | 1"                        | 182,0       | 16791 |
| Flexcon 800                                                 | 1,0                          | 790              | 1890 | 610 | 1"                        | 182,0       | 16792 |
| Flexcon 800                                                 | 1,5                          | 790              | 1890 | 610 | 1"                        | 182,0       | 16793 |
| Flexcon 800                                                 | 2,0                          | 790              | 1890 | 610 | 1"                        | 182,0       | 16794 |
| Flexcon 800                                                 | 2,5                          | 790              | 1890 | 610 | 1"                        | 182,0       | 16795 |
| Flexcon 800                                                 | 3,0                          | 790              | 1890 | 610 | 1"                        | 182,0       | 16796 |
| Flexcon 800                                                 | *                            | 790              | 1890 | 610 | 1"                        | 181,8       | 16790 |
| Flexcon 1000                                                | 0,5                          | 790              | 2270 | 610 | 1"                        | 212,0       | 16891 |
| Flexcon 1000                                                | 1,0                          | 790              | 2270 | 610 | 1"                        | 212,0       | 16892 |
| Flexcon 1000                                                | 1,5                          | 790              | 2270 | 610 | 1"                        | 212,0       | 16893 |
| Flexcon 1000                                                | 2,0                          | 790              | 2270 | 610 | 1"                        | 212,0       | 16894 |
| Flexcon 1000                                                | 2,5                          | 790              | 2270 | 610 | 1"                        | 212,0       | 16895 |
| Flexcon 1000                                                | 3,0                          | 790              | 2270 | 610 | 1"                        | 212,0       | 16896 |
| Flexcon 1000                                                | *                            | 790              | 2270 | 610 | 1"                        | 208,0       | 16890 |

Tableau A5.1 : Table de choix du vase d'expansion

## Caractéristiques techniques Logano GE615

| Type de chaudière                                      |                                       | 570                  | 660           | 740           | 820           | 920           | 1020          | 1110          | 1200          |               |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Puissance thermique nominale [kW]                      |                                       | 511 - 570            | 571 - 660     | 661 - 740     | 741 - 820     | 821 - 920     | 921 - 1020    | 1021 - 1110   | 1111 - 1200   |               |
| Nombre d'éléments                                      |                                       | 9                    | 10            | 11            | 12            | 13            | 14            | 15            | 16            |               |
| Puissance nominale au foyer [kW]                       |                                       | 546,6 - 616,2        | 610,7 - 713,5 | 707 - 800     | 792,5 - 886,5 | 878 - 994,6   | 985 - 1102    | 1092 - 1200   | 1188 - 1297   |               |
| Contenance en eau env. [l]                             |                                       | 561                  | 621           | 681           | 741           | 801           | 861           | 921           | 981           |               |
| Contenance en gaz de combustion [l]                    |                                       | 922                  | 1 027         | 1132          | 1237          | 1342          | 1447          | 1552          | 1657          |               |
| <b>Evacuation des gaz brûlés</b>                       |                                       |                      |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Débit massique des fumées [g/s]                        | Fioul                                 | Charge partielle 60% | 153,7         | 177,8         | 199,5         | 220,7         | 247,9         | 275           | 299,2         | 323,4         |
|                                                        |                                       | Pleine charge        | 232 - 261,5   | 259,2 - 302,8 | 300,1 - 339,6 | 336,4 - 376,3 | 372,7 - 422,2 | 418,1 - 467,8 | 463,5 - 509,3 | 504,3 - 550,5 |
|                                                        | Gaz                                   | Charge partielle 60% | 154,2         | 178,5         | 200,2         | 221,5         | 248,8         | 276           | 300,3         | 324,6         |
|                                                        |                                       | Pleine charge        | 232,8 - 262,5 | 260,2 - 303,9 | 301,2 - 340,8 | 337,6 - 377,6 | 374,1 - 423,7 | 419,6 - 469,4 | 465,2 - 511,2 | 506,1 - 552,5 |
| T° des fumées T° moy. eau = 70° [°C]                   | Charge partielle 60%                  |                      | 140           | 140           | 140           | 140           | 140           | 140           | 140           | 140           |
|                                                        | Pleine charge                         |                      | 170 - 180     | 170 - 180     | 170 - 180     | 170 - 180     | 170 - 180     | 170 - 180     | 170 - 180     | 170 - 180     |
| Teneur en CO2 [%]                                      | Fioul/Gaz                             | 13/10                | 13/10         | 13/10         | 13/10         | 13/10         | 13/10         | 13/10         | 13/10         |               |
| Tirage nécessaire [pa]                                 |                                       | 0                    | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |               |
| Pertes de charge côté eau (P. nom. Dt = 15 [K]) [mbar] |                                       | 42                   | 43            | 43            | 45            | 43            | 43            | 43            | 43            |               |
| Résistance côté gaz de combustion [mbar]               |                                       | 2,4                  | 3,4           | 4,2           | 4,2           | 4,1           | 4,5           | 5,4           | 5,8           |               |
| Facteur d'émission Nox [mg/kWh]                        | Brûleur à air soufflé Weishaupt Fioul |                      | < 120         | < 120         | < 120         | < 120         | < 120         | < 120         | < 120         |               |
|                                                        | Brûleur à air soufflé Weishaupt Gaz   |                      | < 80          | < 80          | < 80          | < 80          | < 80          | < 80          | < 80          |               |
| <b>Divers</b>                                          |                                       |                      |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Longueur L [mm]                                        |                                       | 1 926                | 2 096         | 2 266         | 2436          | 2606          | 2776          | 2946          | 3116          |               |
| Longueur LK [mm]                                       |                                       | 1 804                | 1 974         | 2 144         | 2314          | 2484          | 2654          | 2824          | 2994          |               |
| Foyer [mm]                                             | Longueur                              | 1 525                | 1 695         | 1 865         | 2035          | 2205          | 2375          | 2545          | 2715          |               |
|                                                        | B                                     | 680                  | 680           | 680           | 680           | 680           | 680           | 680           | 680           |               |
| Porte brûleur (corps assemblé) [m]                     | Profondeur                            | 145                  | 145           | 145           | 145           | 145           | 145           | 145           | 145           |               |
| Poids net [kg]                                         |                                       | 2505                 | 2747          | 2990          | 3232          | 3475          | 3710          | 3953          | 4147          |               |

Tableau A5.2 : Table de choix de la chaudière



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

-WILAYA DE TIZI-OUZOU

Maitre d'ouvrage:  
Entreprise de Gestion  
Touristique du Centre

Projet:

Maitre d'oeuvre:  
Mr. Pedro Appleton  
Rua Fábrica Material  
de Guerra n.º 10,  
1950-128 Lisboa  
Portugal

**REHABILITATION ET  
MODERNISATION DE  
L'HOTEL AMRAOUA**

PROMONTORIO   

Visa: -WILAYA DE TIZI-OUZOU

**PHASE D'ETUDE: AVANT PROJET DETAILLE  
ARCHITECTURE**

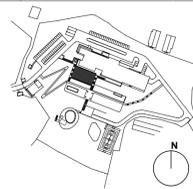
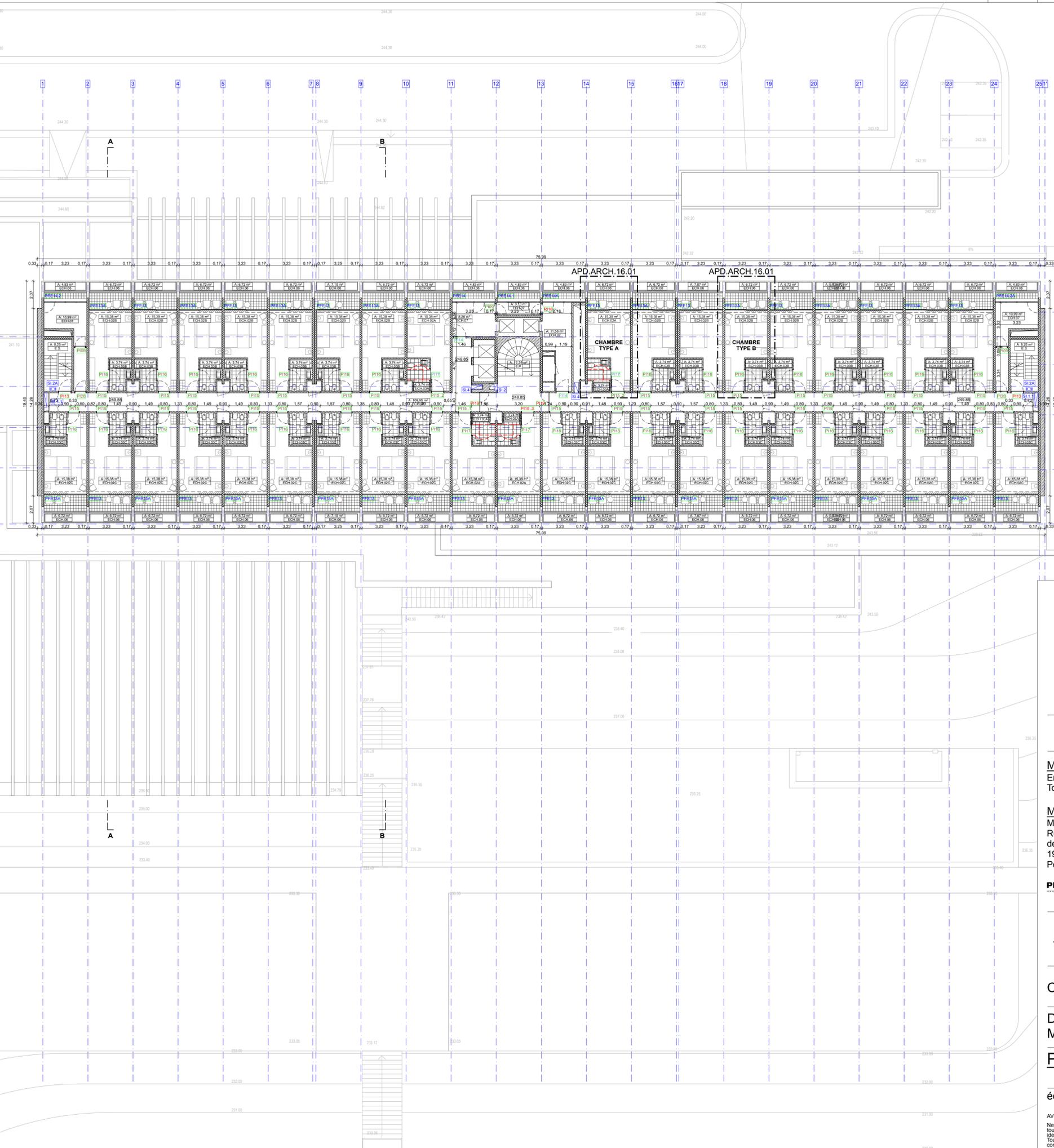
Conception: Mr PEDRO APPLETON **APD.ARCH.01.11**

Dessin: Mr PAULO PEREIRA  
Mme SOFIA REIS Architecte Paysagiste  
Architecte

Projet: Plan 4eme Étage

échelle: 1:150 établi le: 09/12/2014 Modifié le: 05/02/2015

AVIS LEGAL  
Ne pas mesurer les dessins, employé à peine les cotes. Les cotes sont passibles de confirmations en chantier et doivent respecter tous les alignements dessinés. En cas de contradiction entre dessins, l'échelle la plus entendue et celle en vigueur. En cas d'échelle identique, est pris en compte le dessin avec plus d'indication des cotes.  
Tous les modifications, doivent être communiqués au créateur des spécialités. Les informations contenues de ce dessin sont l'objet de consultation d'autres éléments du projet. Ce dessin est propriété intellectuelle de Promontorio, et ne pas être reproduit, divulgué ou copier de sa totalité ou partie sans autorisation écrite.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

-WILAYA DE TIZI-OUZOU

Maitre d'ouvrage:  
Entreprise de Gestion  
Touristique du Centre

Projet:

Maitre d'oeuvre:  
Mr. Pedro Appleton  
Rua Fábrica Material  
de Guerra n.º 10,  
1950-128 Lisboa  
Portugal

**REHABILITATION ET  
MODERNISATION DE  
L'HOTEL AMRAOUA**

PROMONTORIO 

Visa: -WILAYA DE TIZI-OUZOU

**PHASE D'ETUDE: AVANT PROJET DETAILLE  
ARCHITECTURE**

Conception: Mr PEDRO APPLETON

**APD.ARCH.01.07**

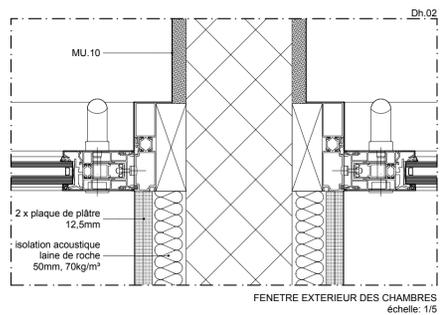
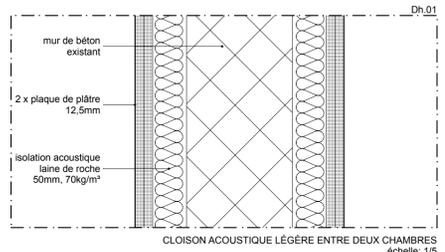
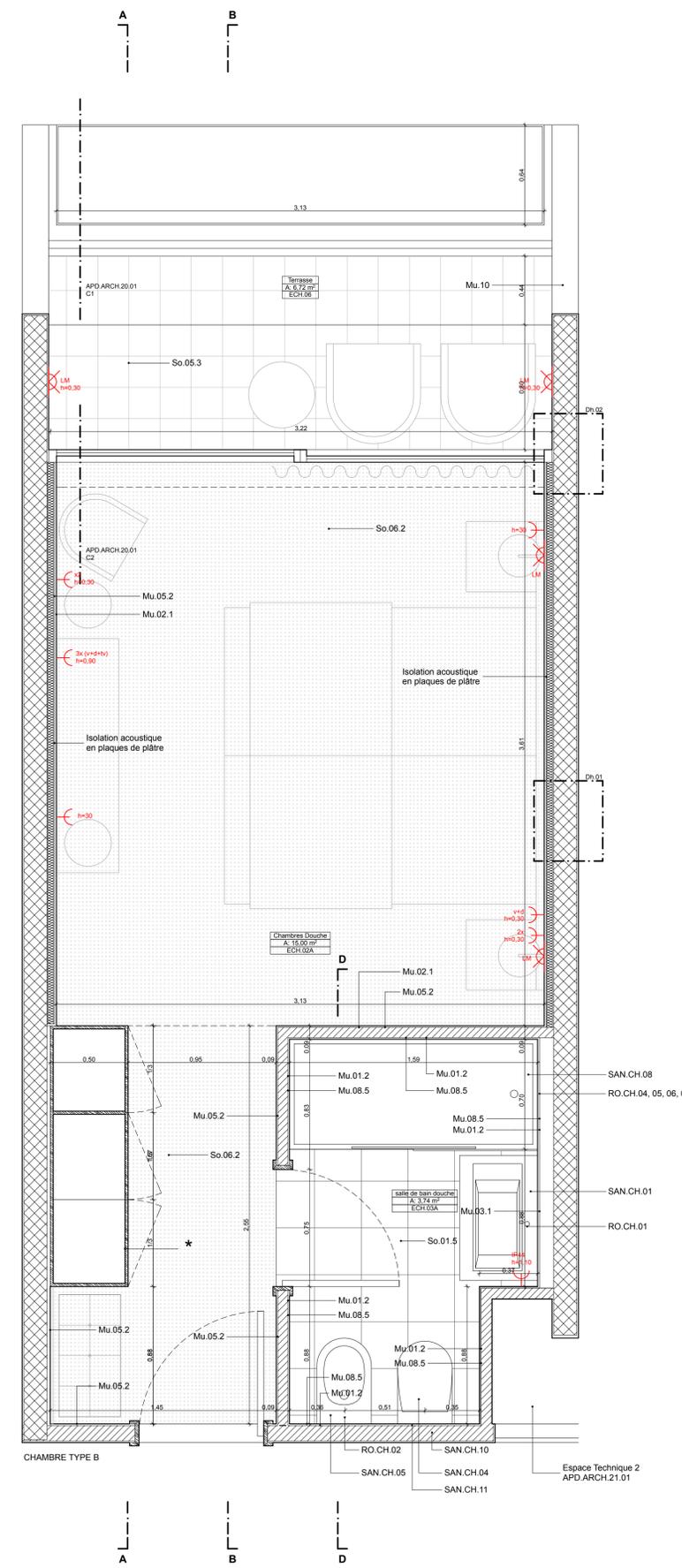
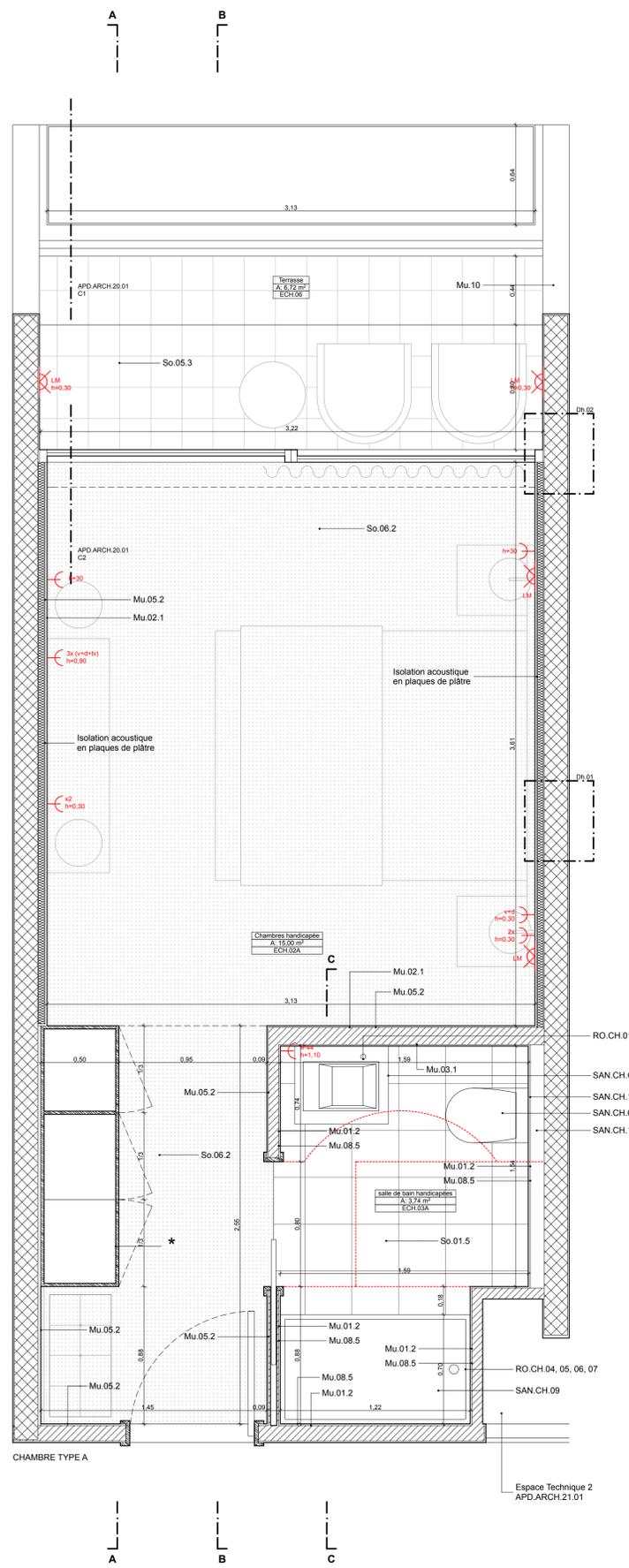
Dessin: Mr PAULO PEREIRA  
Mme SOFIA REIS

Architecte Paysagiste  
Architecte

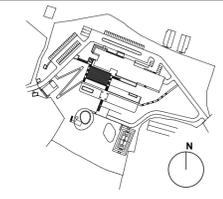
Projet: Plan 1er Étage

échelle: 1:150 établi le: 09/12/2014 Modifié le: 05/02/2015

AVIS LEGAL  
Ne pas mesurer les dessins, employé à peine les cotes. Les cotes sont passibles de confirmations en chantier et doivent respecter tous les alignements dessinés. En cas de contradiction entre dessins, l'échelle la plus entendue et celle en vigueur. En cas d'échelle identique, est pris en compte le dessin avec plus d'indication des cotes.  
Tous les modifications, doivent être communiqués au créateur des spécialités. Les informations contenues de ce dessin sont l'objet de consultation d'autres éléments du projet. Ce dessin est propriété intellectuelle de Promontorio, et ne pas être reproduit, divulgué ou copier de sa totalité ou partie sans autorisation écrite.



- LEGENDE:
- ◊ L1\_ luminaire fixe encastré au plafond
  - ✱ L2\_ luminaire orientable encastré au plafond
  - ✱ L.M\_ luminaire encastré au mur
  - ◊ L.S\_ luminaire suspendu
  - L.P\_ plafonnier
  - ◻ L.T\_ luminaire technique
  - ✱ I.M\_ installation électrique au mur
  - L.C\_ led pour corniche lumineuse
  - ⌞ prise encastré au mur
  - ⌞ prise de sol
  - dossier de décoration



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
-WILAYA DE TIZI-OUZOU

Maitre d'ouvrage:  
Entreprise de Gestion  
Touristique du Centre

Projet:

**REHABILITATION ET  
MODERNISATION DE  
L'HOTEL AMRAOUA**

Maitre d'oeuvre:  
Mr. Pedro Appleton  
Rua Fábrica Material  
de Guerra n.º 10,  
1950-128 Lisboa  
Portugal

PROMONTORIO

Visa: -WILAYA DE TIZI-OUZOU

**PHASE D'ETUDE: AVANT PROJET DETAILLE  
ARCHITECTURE**

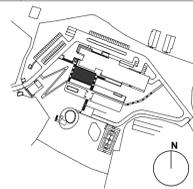
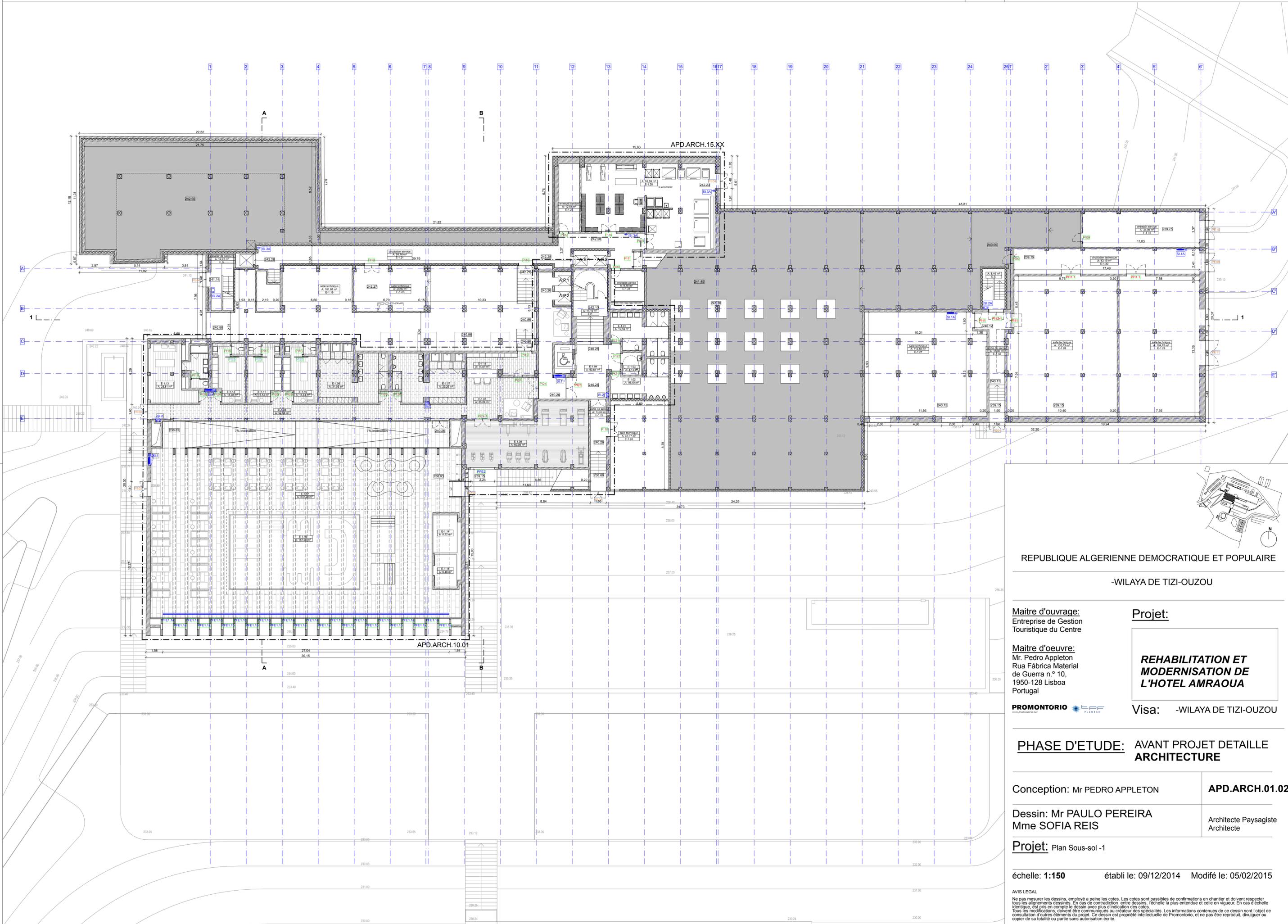
Conception: Mr PEDRO APPLETON **APD.ARCH.16.01**

Dessin: Mr PAULO PEREIRA  
Mme SOFIA REIS Architecte Paysagiste  
Architecte

Projet: Chambres\_Plan chambre (type A et B) et Détails

échelle: 1:20, 1:5 établi le: 09/12/2014 Modifié le: 05/02/2015

AVIS LEGAL  
Ne pas mesurer les dessins, employé à peine les cotes. Les cotes sont passibles de confirmations en chantier et doivent respecter tous les alignements dessinés. En cas de contradiction entre dessins, l'échelle la plus entendue et celle en vigueur. En cas d'échelle identique, est pris en compte le dessin avec plus d'indication des cotes.  
Tous les modifications doivent être communiqués au créateur des spécialités. Les informations contenues de ce dessin sont l'objet de consultation d'autres éléments du projet. Ce dessin est propriété intellectuelle de Promontorio, et ne pas être reproduit, divulgué ou copier de sa totalité ou partie sans autorisation écrite.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

-WILAYA DE TIZI-OUZOU

Maitre d'ouvrage:  
 Entreprise de Gestion  
 Touristique du Centre

Projet:

**REHABILITATION ET  
 MODERNISATION DE  
 L'HOTEL AMRAOUA**

Maitre d'oeuvre:  
 Mr. Pedro Appleton  
 Rua Fábrica Material  
 de Guerra n.º 10,  
 1950-128 Lisboa  
 Portugal

Visa: -WILAYA DE TIZI-OUZOU

**PHASE D'ETUDE: AVANT PROJET DETAILLE  
 ARCHITECTURE**

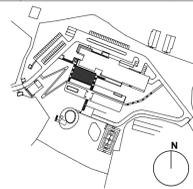
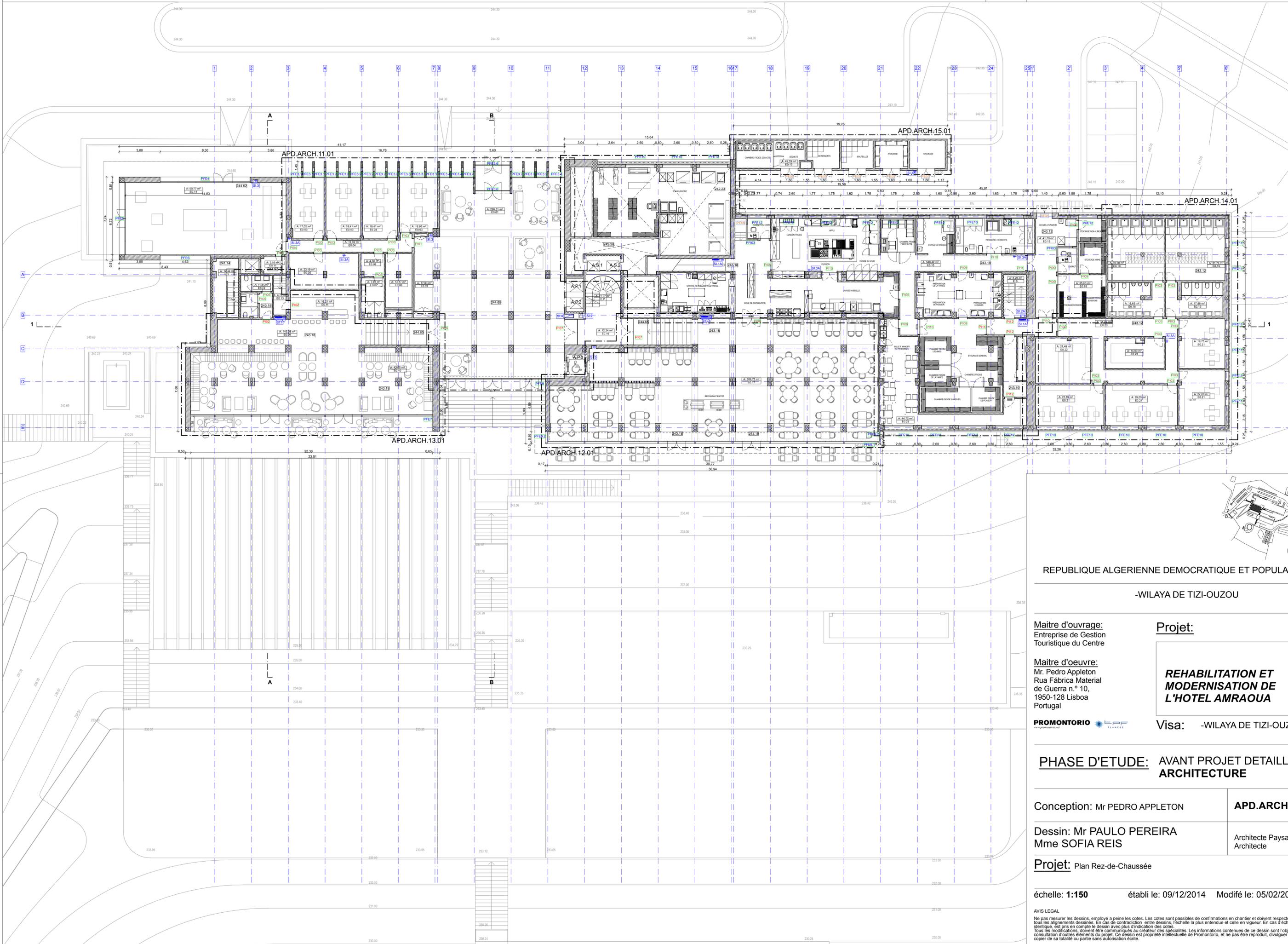
Conception: Mr PEDRO APPLETON **APD.ARCH.01.02**

Dessin: Mr PAULO PEREIRA  
 Mme SOFIA REIS Architecte Paysagiste  
 Architecte

Projet: Plan Sous-sol -1

échelle: 1:150 établi le: 09/12/2014 Modifié le: 05/02/2015

AVIS LEGAL  
 Ne pas mesurer les dessins, employé à peine les cotes. Les cotes sont passibles de confirmations en chantier et doivent respecter tous les alignements dessinés. En cas de contradiction entre dessins, l'échelle la plus entendue et celle en vigueur. En cas d'échelle identique, est pris en compte le dessin avec plus d'indication des cotes.  
 Tous les modifications, doivent être communiqués au créateur des spécialités. Les informations contenues de ce dessin sont l'objet de consultation d'autres éléments du projet. Ce dessin est propriété intellectuelle de Promontorio, et ne pas être reproduit, divulgué ou copier de sa totalité ou partie sans autorisation écrite.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

-WILAYA DE TIZI-OUZOU

Maitre d'ouvrage:  
Entreprise de Gestion  
Touristique du Centre

Projet:

Maitre d'oeuvre:  
Mr. Pedro Appleton  
Rua Fábrica Material  
de Guerra n.º 10,  
1950-128 Lisboa  
Portugal

**REHABILITATION ET  
MODERNISATION DE  
L'HOTEL AMRAOUA**

PROMONTORIO 

Visa: -WILAYA DE TIZI-OUZOU

**PHASE D'ETUDE: AVANT PROJET DETAILLE  
ARCHITECTURE**

Conception: Mr PEDRO APPLETON

**APD.ARCH.01.04**

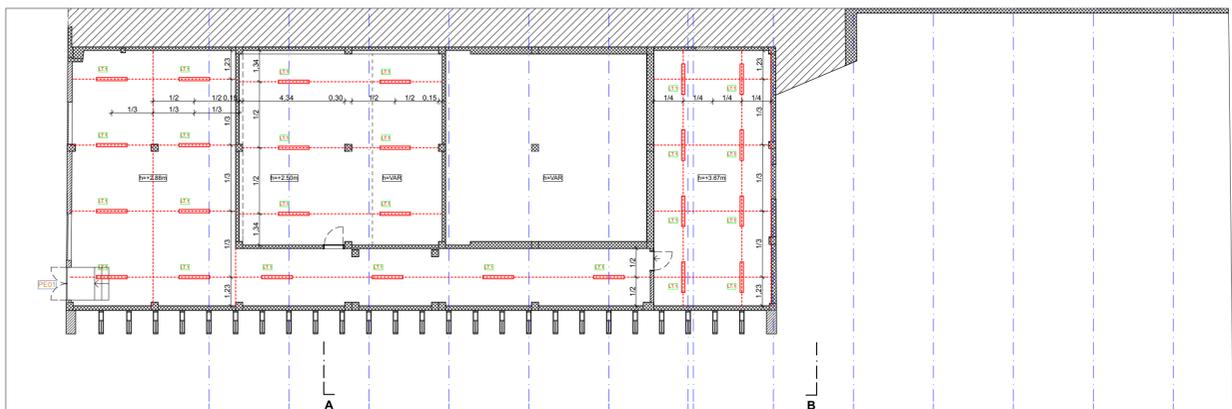
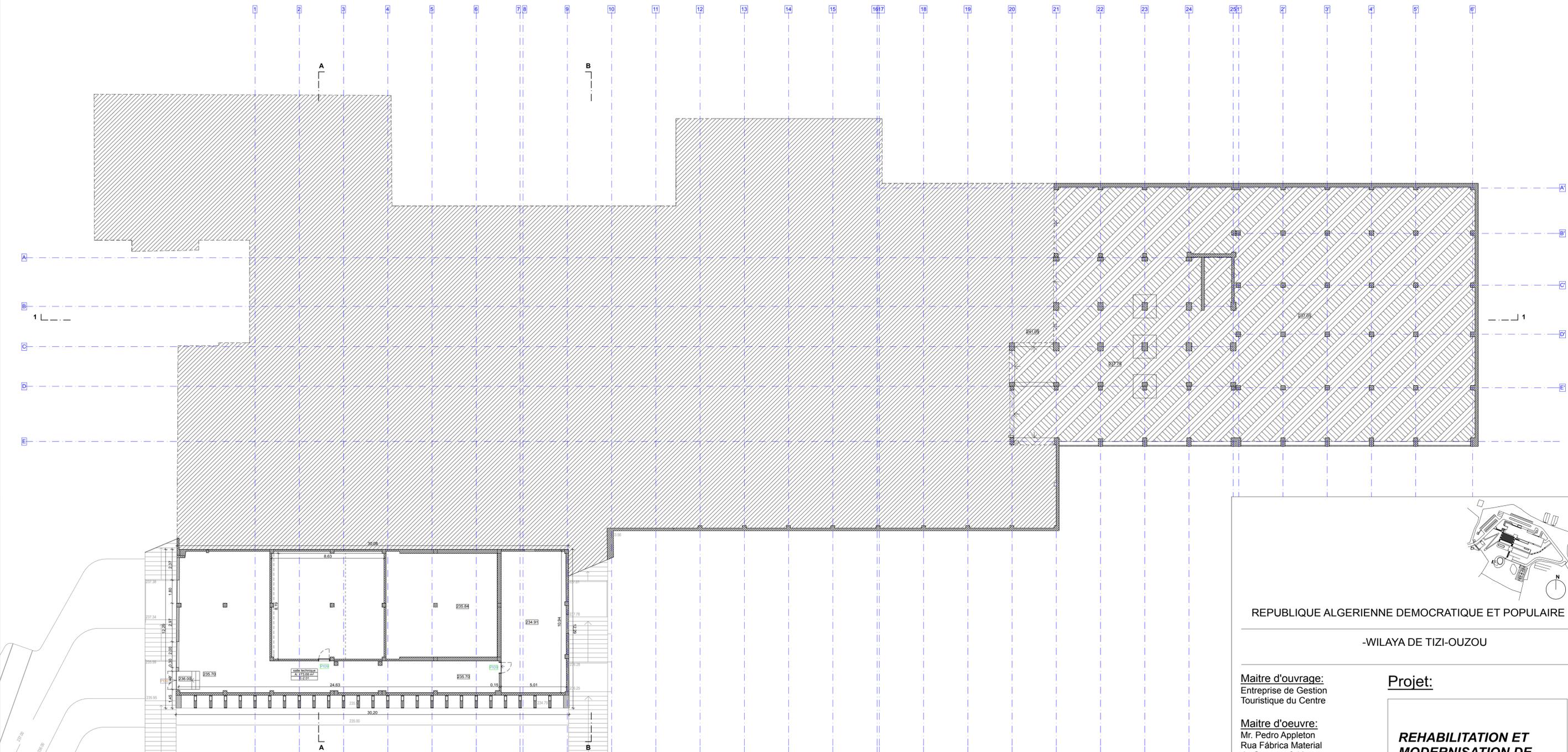
Dessin: Mr PAULO PEREIRA  
Mme SOFIA REIS

Architecte Paysagiste  
Architecte

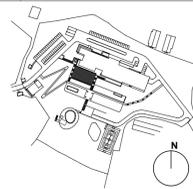
Projet: Plan Rez-de-Chaussée

échelle: 1:150 établi le: 09/12/2014 Modifié le: 05/02/2015

AVIS LEGAL  
Ne pas mesurer les dessins, employé à peine les cotes. Les cotes sont passibles de confirmations en chantier et doivent respecter tous les alignements dessinés. En cas de contradiction entre dessins, l'échelle la plus entendue et celle en vigueur. En cas d'échelle identique, est pris en compte le dessin avec plus d'indication des cotes.  
Tous les modifications, doivent être communiqués au créateur des spécialités. Les informations contenues de ce dessin sont l'objet de consultation d'autres éléments du projet. Ce dessin est propriété intellectuelle de Promontorio, et ne pas être reproduit, divulgué ou copier de sa totalité ou partie sans autorisation écrite.



- LEGENDE:
- ◆ L1\_ luminaire fixe encastré au plafond
  - ★ L2\_ luminaire orientable encastré au plafond
  - ⊠ LM\_ luminaire encastré au mur
  - ◆ LS\_ luminaire suspendu
  - LP\_ plafonnier
  - ▭ LT\_ luminaire technique
  - ⊠ IM\_ installation électrique au mur
  - LC\_led pour corniche lumineuse
  - ⊣ prise encastré au mur
  - ⊠ système sonore
  - prise de sol
  - dossier de décoration



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

-WILAYA DE TIZI-OUZOU

Maitre d'ouvrage:  
Entreprise de Gestion  
Touristique du Centre

Projet:

Maitre d'oeuvre:  
Mr. Pedro Appleton  
Rua Fábrica Material  
de Guerra n.º 10,  
1950-128 Lisboa  
Portugal

**REHABILITATION ET  
MODERNISATION DE  
L'HOTEL AMRAOUA**

PROMONTORIO  

Visa: -WILAYA DE TIZI-OUZOU

**PHASE D'ETUDE: AVANT PROJET DETAILLE  
ARCHITECTURE**

Conception: Mr PEDRO APPLETON

APD.ARCH.01.01

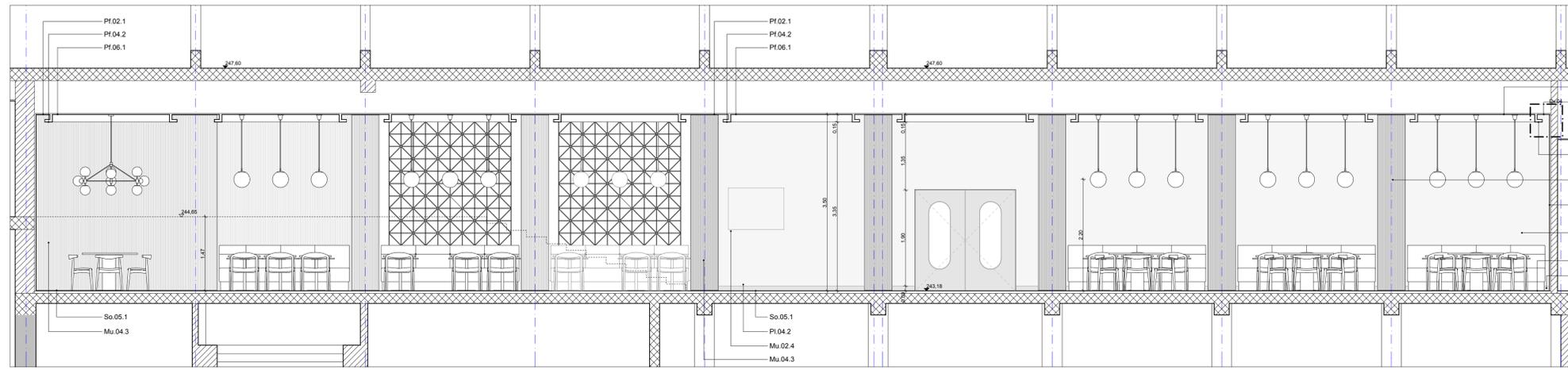
Dessin: Mr PAULO PEREIRA  
Mme SOFIA REIS

Architecte Paysagiste  
Architecte

Projet: Plan Sous-sol -2 et Plafonds

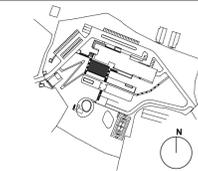
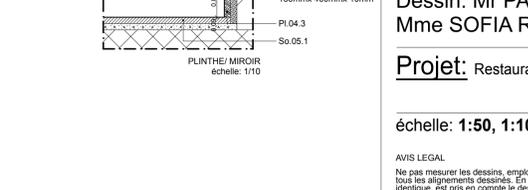
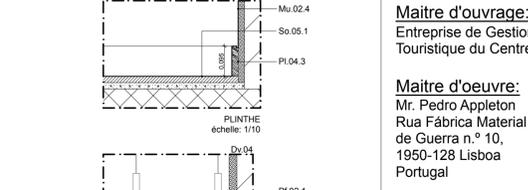
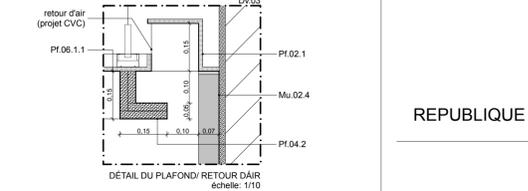
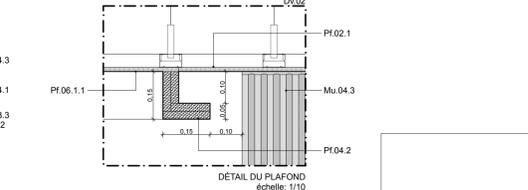
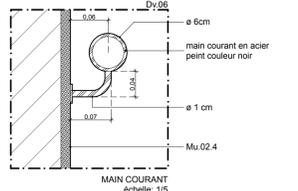
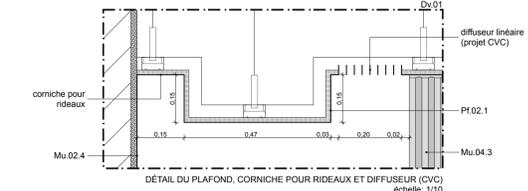
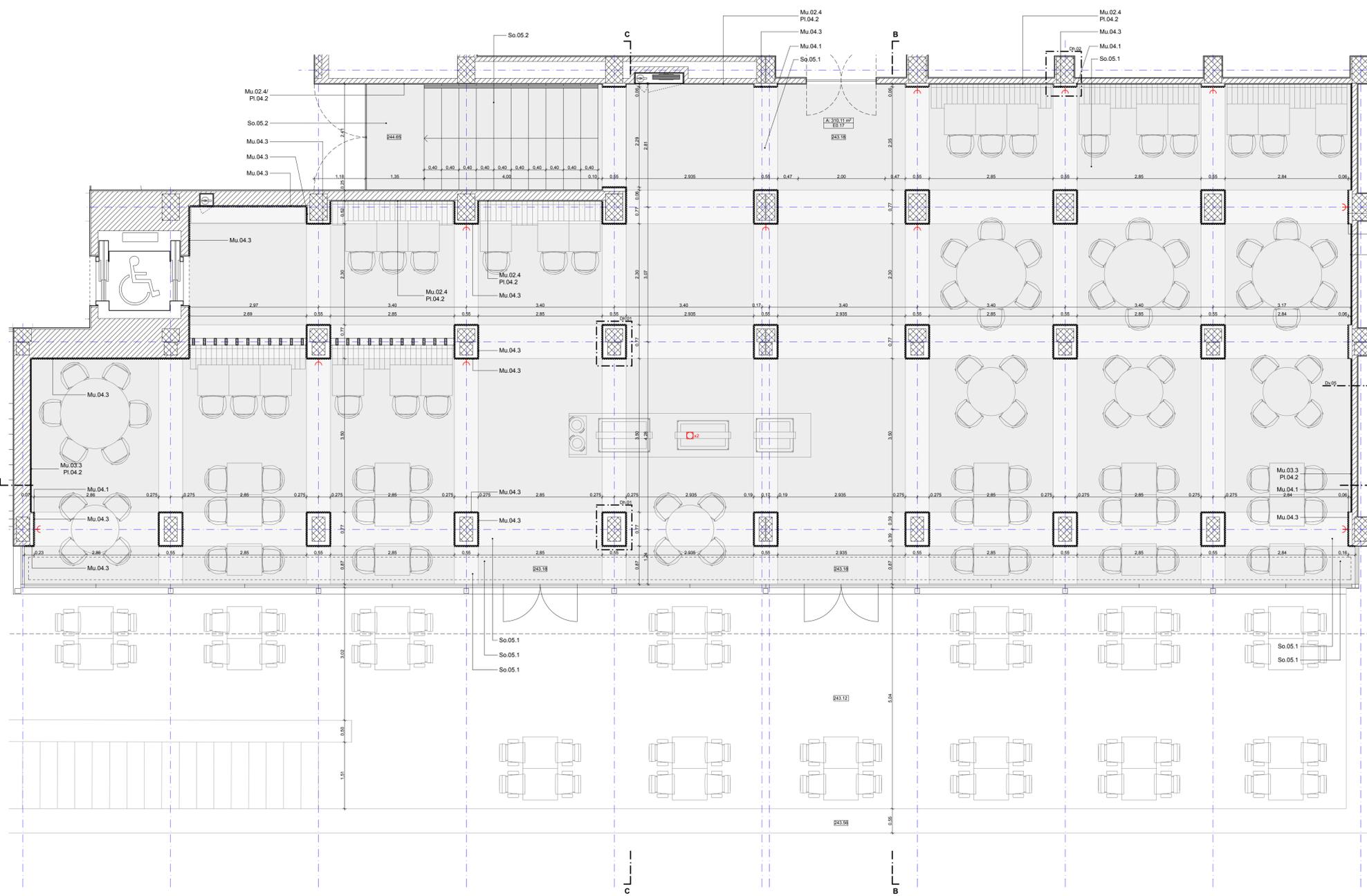
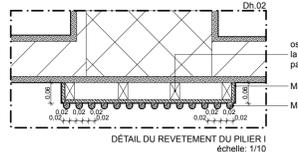
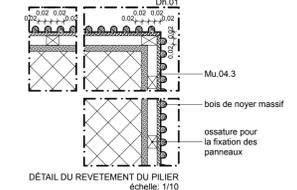
échelle: 1:150 établi le: 09/12/2014 Modifié le: 05/02/2015

AVIS LEGAL  
Ne pas mesurer les dessins, employé à peine les cotes. Les cotes sont passibles de confirmations en chantier et doivent respecter tous les alignements dessinés. En cas de contradiction entre dessins, l'échelle la plus entendue et celle en vigueur. En cas d'échelle identique, est pris en compte le dessin avec plus d'indication des cotes.  
Tous les modifications, doivent être communiqués au créateur des spécialités. Les informations contenues de ce dessin sont l'objet de consultation d'autres éléments du projet. Ce dessin est propriété intellectuelle de Promontorio, et ne pas être reproduit, divulgué ou copier de sa totalité ou partie sans autorisation écrite.



COUPE A

- LEGENDE:
- ⊕ L1\_luminaire fixe encastré au plafond
  - ⊗ L2\_luminaire orientable encastré au plafond
  - ⊕ LM\_luminaire encastré au mur
  - ⊕ LS\_luminaire suspendu
  - LP\_plafonnier
  - ⊕ LT\_luminaire technique
  - ⊕ IM\_installation électrique au mur
  - LC\_led pour corniche lumineuse
  - ⊕ prise encastré au mur
  - ⊕ système sonore
  - ⊕ prise de sol
  - dossier de décoration



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

-WILAYA DE TIZI-OUZOU

Maitre d'ouvrage:  
Entreprise de Gestion  
Touristique du Centre

Maitre d'oeuvre:  
Mr. Pedro Appleton  
Rua Fábrica Material  
de Guerra n.º 10,  
1950-128 Lisboa  
Portugal

Projet:

**REHABILITATION ET  
MODERNISATION DE  
L'HOTEL AMRAOUA**

Visa: -WILAYA DE TIZI-OUZOU

**PHASE D'ETUDE: AVANT PROJET DETAILLE  
ARCHITECTURE**

Conception: Mr PEDRO APPLETON

**APD.ARCH.12.01**

Dessin: Mr PAULO PEREIRA  
Mme SOFIA REIS

Architecte Paysagiste  
Architecte

Projet: Restaurant\_Plans, Coupes et Détails

échelle: 1:50, 1:10, 1:5 établi le: 09/12/2014 Modifié le: 05/02/2015

AVIS LEGAL:  
Ne pas mesurer les dessins, employé à peine les cotes. Les cotes sont passibles de confirmations en chantier et doivent respecter tous les alignements dessinés. En cas de contradiction entre dessins, l'échelle la plus entendue et celle en vigueur. En cas d'échelle identique, est pris en compte le dessin avec plus d'indication des cotes.  
Tous les modifications, doivent être communiqués au créateur des spécialités. Les informations contenues de ce dessin sont l'objet de consultation d'outils éléments du projet. Ce dessin est propriété intellectuelle de Promontorio, et ne pas être reproduit, divulgué ou copier de sa totalité ou partie sans autorisation écrite.

## ***Bibliographie***

---

[1] H.RECKNAGEL SPRENGER\*SCHRAMEK, (Génie climatique), Dunod, PARIS, 2007 pour la traduction française, ISBN 978-2-10-048353-2

[2] MANUEL CARRIER, (1<sup>ère</sup> Partie: Distribution de l'air), Carier Corporation 2<sup>o</sup> Edition Printed in the United Kingdom

[3] Mécanique, (JEAN6LOUIS FANCHON), LMD OBJECTIF ET professionnel, Berti Edition, ISBN 978-9961-69-155-5

[4] NICOLAS MOREL et EDGARD GNANSOUNOU, (Energétique du bâtiment), Ecole polytechnique fédérale de LAUSANNE, Ed septembre 2009

[5] LA THERMIQUE DU BATIMENT, Dunod 2016, PARIS, ISBN 978-2-10-074343-8

[6] CLIMATISATION CONDITIONNEMENT D'AIR, Numéro spécial de chaud-froid-plomberie 1998, ISBN 2-86 243 044-7

[7] Document technique réglementaire D.T.R C3.2, Règle de calcul des déperditions calorifiques, CNERIB Ministère de l'habitat, Fascicule 1, 1998

[8] CHAPPEE, Catalogue technique de choix des radiateurs, 2016

[9] SALMSON, Catalogue des pompes de chauffage domestique, LRL-JRL Pompe en ligne simples et doubles, chauffage et climatisation - ECS.\*50HZ, Norme A.C.S

[10] FLAMCO, Vase d'expansion de 110 à 1000 litres, Catalogue technique, Ed 2017

[11] BUDERUS, Catalogue technique de conception 10/2011, Logano GE615 chauffage de 511 à 1200 Kw

[12] Mémoire de fin d'études, Etude d'une unité de conditionnement d'air d'une salle blanche pour compresses stériles (SOCOTHYD, ISSERS)

Réalisé par : M<sup>R</sup> B.AZEROU et M<sup>R</sup> N.DAHMANI

Dirigé par : M<sup>R</sup> S.MAKHLOUF

Suivi par : M<sup>R</sup> A.HAMMADI

Promotion 2005/2006

[13] Mémoire de fin d'études, Etude de la climatisation du bâtiment administratif de la S.N.V.I (C.V.I) de ROUIBA (ALGER)

Proposé par : M<sup>R</sup> .ACHLI (S.N.V.I. ROUIBA)

Suivi par : M<sup>R</sup> N.LAMROUS

Etudié par : M<sup>R</sup> D.MOULOUDJ, M<sup>R</sup> S.SAMAH et M<sup>ELLE</sup> F.BAGDADI

Promotion 2002

## ***Bibliographie***

---

[14] Mémoire de fin d'études, Chauffage, climatisation et ventilation d'une unité d'urgence médicale a Boumerdes

Proposé par : Cabinet. D'étude de Boumerdes (C.E.B)

H.ZIANE

Dirigé par : M<sup>R</sup> A.LABASSI

Réalisé par : M<sup>R</sup> R.SAIB et M<sup>ME</sup> Kh.ALILAT

Promotion 2000

[15] Mémoire de fin d'études, Etude et dimensionnement d'un système de traitement d'air d'une clinique : ATHENA – Constantine

Proposé par : M<sup>R</sup> N. ELKRERARFI

Dirigé par : M<sup>R</sup> S. MAKHLOUF

Réalisé par : M<sup>elle</sup> LOUALI Fatiha

Promotion 2012/2013

[16] Guide au dimensionnement des appareils de production d'eau chaude sanitaire,

Illustrations : Institut Wallon, Renova Bulex (photo de couverture)

Réalisation : Institut Wallon A.S.B.L. Bld Frère Orban, 4 5000 Namur 081 / 25 04 80

Editeur responsable : Ministère de la Région Wallonne-DGTRE Service de l'Energie, Av.

Prince de Liège, 7 5100 Jambes

[17] [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)

[18] [www.thermexcel.com](http://www.thermexcel.com)