

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**0.Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**

**Faculté de Génie de la construction**

**Département de génie mécanique**



# **Mémoire de Fin d'Etudes**

**En vue de l'obtention du diplôme**

**Master professionnel en Génie Mécanique**

**Spécialité : Froid, chauffage et climatisation**

## **Thème**

Etude de la climatisation centralisée  
d'une clinique à Douera (Alger) avec  
bloc opératoire

**Présenté par :**

**TOUABI Juba Arris & ALKAMA Fetta**

**Encadré par :**

**M<sup>r</sup> S. BOUDAUD**

**Co encadré par:**

**M<sup>r</sup> H. Menad**

**Promotion 2020/2021**

# **Remerciements**

*On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté de commencer et de terminer ce mémoire.*

*On remercie notre promoteur **Mr. BOUDAUD Salah** pour son encadrement exceptionnel, sa rigueur, son sérieux. Sa contribution a été d'un précieux soutien tout au long de notre travail.*

*Notre gratitude va aussi à **Mr. MENAD Hakim** pour son aide précieuse, simplicité et ces encouragements.*

*Nos vifs remerciements à **Mr. MEDAH Azziz** pour son aide, ces conseils et encouragements*

*Nos vifs remerciements à **Mr. Dib Samir** pour son aide, ces conseils et encouragements*

*Nos remerciements aux membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.*

*Enfin, nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

## ***Dédicaces***

*À mes très chers parents pour leurs sacrifices pour lesquels je leur suis énormément reconnaissant ainsi que pour leur aide, merci d'avoir toujours cru en moi.*

*À mon frère adoré,*

*À ma très chère fiancée,*

*À tous mes amis qui ont su me montrer leur soutien tout au long de l'élaboration de ce mémoire ;*

*Je vous dédie cette modeste contribution que j'espère avoir tissé pour une fin utile.*

*Touabi Juba Arris.*

## ***Dédicaces***

*À mon père et ma mère ainsi que ma grand-mère que dieu les gardent ;*

*À mes frères,*

*À mes sœurs ; Yamina et Lynda*

*À mes amis Kenza, Katia, Lynda, Faouzi, Khaled, Slimane et Mehdi, je vous dédie ce modeste travail.*

*Alkama Fetta.*

# Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Nomenclature

Liste des figures

Liste des Tables

Introduction générale..... 1

## Chapitre I : Les différents systèmes de climatisation

1 - Introduction ..... 2

2 - Les Systèmes de climatisation ..... 2

2.1 - Systèmes à renouvellement d'air ..... 2

2.1 - Systèmes à renouvellement d'air ..... 2

2.2 - Systèmes de climatisation : tout air ..... 3

2.3 - Systèmes tout-eau ..... 4

2.4 - Systèmes de pompe à chaleur sur boucle d'eau ..... 5

3 - Roof-top ..... 5

3.1 - Les différents types de Roof-top ..... 6

4 - Système à détente directe ..... 6

4.1 - Le compresseur ..... 7

4.2 - Le condenseur ..... 7

4.3 - Le détendeur ..... 7

4.4 - L'évaporateur ..... 7

5 - La VRV à récupération d'énergie ..... 8

5.1 - Le VRV à récupération d'énergie deux tubes ..... 8

5.2 - Le VRV à récupération d'énergie à trois tubes ..... 8

6 - Le confort thermique ..... 9

6.1 - L'acoustique des systèmes de ventilation ..... 9

6.1.1 - Piège à son ..... 9

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.1.2 - Grille de soufflage .....                                                 | 10 |
| 6.1.3 - Plénum climatisation .....                                                | 11 |
| 6.2 - Plage du confort thermique sur le diagramme de l'air humide .....           | 12 |
| 7 - Les établissements recevant du public (ERP).....                              | 13 |
| 8 - Impact de la climatisation sur l'environnement .....                          | 13 |
| 9 - Transfert Thermique .....                                                     | 14 |
| 9.1 – Conduction .....                                                            | 14 |
| 9.2 – Convection .....                                                            | 15 |
| 9.3 – Rayonnement .....                                                           | 15 |
| 10 - Equation fondamentale de la transmission de chaleur .....                    | 15 |
| 10.1 - Coefficient de transmission thermique surfacique des parois K .....        | 15 |
| 10.2 - Calcul du coefficient K des parois opaques .....                           | 16 |
| 10.2.1 - Principes de calcul .....                                                | 16 |
| 10.2.2 - Expression générale du coefficient K .....                               | 16 |
| 10.3 - Résistance thermique d'une couche homogène .....                           | 17 |
| 10.4 - Résistance thermique d'une couche hétérogène .....                         | 18 |
| 10.5 - Résistance thermique d'une lame d'air .....                                | 18 |
| 10.6 - Calcul du coefficient K des parois vitrées .....                           | 18 |
| 10.7 - Coefficient K des portes .....                                             | 19 |
| 10.7.1 - Portes courantes .....                                                   | 19 |
| 10.7.2 - Les coefficients K des portes particulières .....                        | 20 |
| 10.8 - Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique des parois "K". | 20 |

## **Chapitre II : Données de base utilisées en climatisation**

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 1- Introduction .....                               | 21 |
| 2 - Situation géographique .....                    | 21 |
| 3 - Zone climatique .....                           | 21 |
| 4 - Conditions de base .....                        | 21 |
| 5 - Conditions extérieures de base (été) .....      | 22 |
| 5.1 - Les caractéristiques de l'air extérieur ..... | 22 |

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 6 - Valeurs du rayonnement de base .....      | 23 |
| 6.1 - Détermination du rayonnement réel ..... | 24 |
| 7 - Condition intérieur de base .....         | 25 |
| 8 - Données du site .....                     | 25 |

### **Chapitre III : Bilan Thermique estival**

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1 – Introduction .....                                            | 26 |
| 2 - Bilan thermique estival .....                                 | 26 |
| 3 - Le calcul des apports calorifiques des bâtiments .....        | 27 |
| 4 - Formules générales .....                                      | 28 |
| 4.1 - Calcul des apports .....                                    | 28 |
| 4.2 - Vérification réglementaire .....                            | 29 |
| 5 - Apports de chaleur à travers les parois opaques .....         | 29 |
| 5.1 - Parois aériennes .....                                      | 29 |
| 5.2 - Différence de température équivalente $\Delta t_e(t)$ ..... | 30 |
| 5.2.1 - Pour une paroi ensoleillée .....                          | 30 |
| 5.2.2 - Paroi à l'ombre .....                                     | 30 |
| 5.2.3 - Parois intérieures .....                                  | 31 |
| 6 - Calcul de la surface ensoleillée et ombrée du vitrage .....   | 32 |
| 6.1 - Cas d'une saillie verticale .....                           | 32 |
| 6.2 - Cas d'une saillie horizontale .....                         | 33 |
| 6.3 - Etapes de calcul .....                                      | 34 |
| 7 - Apports de chaleur internes .....                             | 35 |
| 7.1 - Gains dus aux occupants .....                               | 35 |
| 7.2 - Gains dus aux machines électrique .....                     | 36 |
| 7.3 - Gains dus à l'éclairage .....                               | 38 |
| 8 - Apport de chaleur par introduction d'air extérieur .....      | 39 |
| 9 - Application .....                                             | 40 |
| 9.1 - Exemple chambre d'anesthésie.....                           | 41 |
| 9.2 - Le résultat final du bilan thermique .....                  | 46 |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 10 - Apports de référence des parois opaque horizontales ..... | 47 |
|----------------------------------------------------------------|----|

## **Chapitre IV Distribution du système VRV**

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 1 - Introduction .....          | 53 |
| 2 - Informations générale ..... | 53 |
| 2-1-Groupe Extérieur .....      | 53 |
| 2-2-Unité Intérieure .....      | 54 |
| 2-3-Tuyauterie .....            | 54 |
| 2-4- Raccord/ Collecteur .....  | 54 |
| 2-5-Accessoires .....           | 55 |
| 3-Solution sélectionnée .....   | 55 |
| 3-1- Groupe Extérieur .....     | 55 |
| 3-2- Unité Intérieure .....     | 55 |
| 3-3- Tuyauterie .....           | 56 |

## **Chapitre V Traitement et distribution de l'air**

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1 - Traitement de l'air .....                                     | 58 |
| 1.1 – Introduction .....                                          | 58 |
| 1.2 - Débit de massique de l'air .....                            | 58 |
| 1.3 - Débit d'humidité .....                                      | 58 |
| 1.4 - Puissance reçue ou cédée par l'air .....                    | 59 |
| 1.5 Traitement d'air en régime estival .....                      | 59 |
| 1.6 - Détermination de la température au point de soufflage ..... | 60 |
| 1.6.1 - Majoration du bilan thermique estival .....               | 60 |
| 1.6.2 - Apports dus fuites des gaines de soufflage .....          | 60 |
| 1.6.3 - Apport sensible majoré .....                              | 61 |
| 1.6.4 - Les caractéristiques de point de soufflage .....          | 62 |
| 1.7 - Détermination de la puissance de la batterie froide .....   | 62 |
| 2 - La distribution de l'air .....                                | 64 |
| 2.1 – Introduction .....                                          | 64 |
| 2.2 - Dimensionnement des gaines .....                            | 64 |

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 2.3 - Calculer des pertes de charges .....               | 65 |
| 2.3.1 - Pertes de charge singulière« $\Delta PS$ » ..... | 65 |
| 2.3.2 - Perte de charge linéaire « $\Delta PL$ » .....   | 65 |
| 2.3.3 - Perte de charge totale « $\Delta PT$ » .....     | 66 |
| 2.3.4 - Diamètres et vitesses .....                      | 66 |
| 2.3.5 - Résultats des pertes de charge .....             | 67 |

## **Chapitre VI : Choix de système**

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 – Introduction .....                                                       | 68 |
| 2 - Les systèmes de climatisation .....                                      | 68 |
| 3 - Les critères de sélection .....                                          | 68 |
| 3.3 – Economique.....                                                        | 69 |
| 3.4 – Esthétique .....                                                       | 69 |
| 3.5 - Le niveau sonore .....                                                 | 69 |
| 3.6 – Environnement .....                                                    | 69 |
| 4 - Système retenu .....                                                     | 69 |
| 5 - Le système VRV (variable refrigerant volume system) .....                | 69 |
| 5.1 - Principe .....                                                         | 69 |
| 5.2 - Le VRV, 2 tubes .....                                                  | 71 |
| 5.3 - Les avantages et les inconvénients de VRV .....                        | 71 |
| 5.4 - Unités extérieures .....                                               | 72 |
| 5.5 - Le fluide frigorigène .....                                            | 72 |
| 6 - Description générale de la «MULTV» .....                                 | 72 |
| 6.1 - Caractéristique de MULTI V5 .....                                      | 72 |
| 7 - Simplification des tests de fonctionnement grâce à LGMV .....            | 74 |
| 8 - Une centrale traitement de l'air (abréviation correspondante: CTA) ..... | 74 |
| 8.1 - Différents type de CTA existant .....                                  | 74 |
| 8.2 - Les éléments de la centrale traitement de l'air .....                  | 75 |
| 8.3 - Résistance enviroilées .....                                           | 79 |
| 9 – Caractéristiques .....                                                   | 82 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 10 – Diffuseurs ..... | 84 |
|-----------------------|----|

## **Chapitre VII : Régulation**

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 1 - Introduction .....                            | 87 |
| 1. Définitions .....                              | 87 |
| 1.1 - Le régulateur .....                         | 87 |
| 1.2 - Le capteur .....                            | 87 |
| 1.2.a Thermostats .....                           | 87 |
| 1.2.b - Température .....                         | 88 |
| 1.3 - Le convertisseur .....                      | 90 |
| 1.4 - Le processus (ou procès) .....              | 90 |
| 1.5 - L'amplification (organe de puissance) ..... | 90 |
| 1.6 - La consigne (W) .....                       | 91 |
| 2 - Système économiseurs .....                    | 91 |
| 3 - Débit d'air .....                             | 91 |
| 4 -La grandeur réglée (X) .....                   | 91 |
| 5 - La grandeur réglant (Y) .....                 | 91 |
| 6 - Les perturbations (Z) .....                   | 91 |
| Conclusion générale .....                         | 93 |
| Bibliographie                                     |    |
| Annexes                                           |    |

## Nomenclature

| <b>Symbole</b>            | <b>Signification</b>                                                                   | <b>Unité</b>   |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>A%</b>                 | Pourcentage de majoration sur K                                                        | <b>%</b>       |
| <b>Ail</b>                | Partie latente des apports calorifiques internes                                       | <b>W</b>       |
| <b>Ail,ec</b>             | partie latente des apports internes dus à l'éclairage                                  | <b>W</b>       |
| <b>Ail,j</b>              | Partie latente d'apport interne j                                                      | <b>W</b>       |
| <b>Ail,oc</b>             | partie latente des apports internes dus aux occupants                                  | <b>W</b>       |
| <b>Ail/p</b>              | apport latent dégagé par une personne                                                  | <b>W/Pers.</b> |
| <b>AINFl</b>              | Partie latente des apports calorifiques dus aux infiltrations d'air extérieur          | <b>W</b>       |
| <b>AINFs</b>              | Partie sensible des apports calorifiques dus aux infiltrations d'air extérieur         | <b>W</b>       |
| <b>AI<sub>s</sub></b>     | Partie sensible des apports calorifiques internes                                      | <b>W</b>       |
| <b>AI<sub>s</sub>,ec</b>  | partie sensible des apports internes dus à l'éclairage                                 | <b>W</b>       |
| <b>AI<sub>s</sub>,j</b>   | Partie sensible d'apport interne j                                                     | <b>W</b>       |
| <b>AI<sub>s</sub>,oc</b>  | Partie sensible des apports internes dus aux occupants                                 | <b>W</b>       |
| <b>AI<sub>s</sub>/p</b>   | Apport sensible dégagé par une personne                                                | <b>W/Pers.</b> |
| <b>alt</b>                | Altitude                                                                               | <b>m</b>       |
| <b>APO</b>                | Apports calorifiques à travers les parois opaques                                      | <b>W</b>       |
| <b>APOI<sub>lc</sub></b>  | Apports calorifiques à travers une paroi opaque en contact avec un local climatisé     | <b>W</b>       |
| <b>APOI<sub>lnc</sub></b> | Apports calorifiques à travers une paroi opaque en contact avec un local non climatisé | <b>W</b>       |
| <b>APO<sub>s</sub></b>    | Apports de chaleur à travers une paroi en contact avec le sol                          | <b>W</b>       |
| <b>AT</b>                 | Apports calorifiques totaux                                                            | <b>W</b>       |
| <b>AV</b>                 | Apports calorifiques à travers les parois vitrées                                      | <b>W</b>       |
| <b>AVE</b>                | Apports calorifiques à travers une paroi vitrée extérieure                             | <b>W</b>       |
| <b>AVR</b>                | Apports calorifiques par rayonnement à travers une paroi vitrée extérieure             | <b>W</b>       |
| <b>AVT</b>                | Apports calorifiques par transmission à travers une paroi vitrée extérieure            | <b>W</b>       |
| <b>Clnc</b>               | Coefficient correcteur                                                                 | <b>°C</b>      |

|                  |                                                                           |                  |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b>Cp</b>        | Chaleur spécifique.                                                       | <b>J/Kg °C</b>   |
| <b>Cte</b>       | Facteur de correction                                                     | <b>°C</b>        |
| <b>CTS</b>       | Coefficient correcteur                                                    | <b>-</b>         |
| <b>D</b>         | Le diamètre                                                               | <b>[m]</b>       |
| <b>DHb,i</b>     | Humidité relative de base de l'air intérieur                              | <b>%</b>         |
| <b>e</b>         | Epaisseur de la couche de matériau                                        | <b>m</b>         |
| <b>E</b>         | Est                                                                       | <b>-</b>         |
| <b>e1</b>        | Longueur d'ombre latérale                                                 | <b>m</b>         |
| <b>e2</b>        | Longueur d'ombre verticale                                                | <b>m</b>         |
| <b>Eb</b>        | Ecart diurne de base                                                      | <b>°C</b>        |
| <b>ENT</b>       | Enthalpie                                                                 | <b>KJ/Kgas</b>   |
| <b>FS</b>        | Facteur solaire du vitrage                                                | <b>-</b>         |
| <b>HMT</b>       | La hauteur manométrique totale                                            | <b>m</b>         |
| <b>he</b>        | Coefficient d'échange superficiel extérieur                               | <b>W/m2.°C</b>   |
| <b>hi</b>        | Coefficient d'échange superficiel intérieur                               | <b>W/m2.°C</b>   |
| <b>HS</b>        | Humidité spécifique de l'air                                              | <b>gvap/Kgas</b> |
| <b>HSb,e</b>     | Humidité spécifique de base de l'air extérieur                            | <b>gvap/Kgas</b> |
| <b>Id</b>        | Rayonnement diffus maximal réel                                           | <b>W/m2</b>      |
| <b>Id,b</b>      | Rayonnement diffus de base                                                | <b>W/m2</b>      |
| <b>It</b>        | Rayonnement total maximal réel                                            | <b>W/m2</b>      |
| <b>It,b</b>      | Rayonnement total de base                                                 | <b>W/m2</b>      |
| <b>It,b</b>      | Rayonnement total de base                                                 | <b>W/m2</b>      |
| <b>It,b(°40)</b> | Rayonnement total de base pour le mois de juillet et la latitude °40 Nord | <b>W/m2</b>      |
| <b>K</b>         | Coefficient de transmission thermique surfacique                          | <b>W/m2.°C</b>   |
| <b>K moy</b>     | Coefficient de transmission thermique surfacique moyen                    | <b>W/m2.°C</b>   |
| <b>Kvn</b>       | Coefficient de transmission thermique du vitrage                          | <b>W/m2.°C</b>   |
| <b>L</b>         | la longueur de la tuyauterie.                                             | <b>m</b>         |
| <b>m</b>         | Débit                                                                     | <b>m³/h</b>      |
| <b>M</b>         | Masse rapportée à la surface du plancher                                  | <b>m2</b>        |

|                        |                                                                                                      |                           |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>n</b>               | Nombre de couches de matériaux formant une paroi                                                     | -                         |
| <b>N</b>               | Nord                                                                                                 | -                         |
| <b>NE</b>              | Nord Est                                                                                             | -                         |
| <b>NL</b>              | Nombre de lampes ou de tubes fluorescents                                                            | -                         |
| <b>NO</b>              | Nord-Ouest                                                                                           | -                         |
| <b>Np</b>              | nombre de personnes                                                                                  | -                         |
| <b>NPVI</b>            | Coefficient d'amortissement relatif aux gains par ensoleillement travers une paroi vitrée extérieure | -                         |
| <b>O</b>               | Ouest                                                                                                | -                         |
| <b>P</b>               | Puissance dégagée surfacique des luminaires                                                          | <b>W/m<sup>2</sup></b>    |
| <b>PA</b>              | Pression atmosphérique                                                                               | <b>Pa</b>                 |
| <b>PC</b>              | Pouvoir calorifique                                                                                  | <b>J/m<sup>3</sup></b>    |
| <b>PC sup</b>          | Pouvoir calorifique supérieur du combustible                                                         | <b>J/m<sup>3</sup></b>    |
| <b>PP</b>              | Pression partielle de vapeur d'eau                                                                   | <b>Pa</b>                 |
| <b>Qv</b>              | débit                                                                                                | <b>m<sup>3</sup>/h</b>    |
| <b>R</b>               | Résistance thermique d'une couche de matériau                                                        | <b>m<sup>2</sup>.°C/W</b> |
| <b>Ra</b>              | Résistance thermique d'une lame d'air                                                                | <b>m<sup>2</sup>.°C/W</b> |
| <b>ℜ</b>               | Nombre de Reynolds                                                                                   | -                         |
| <b>S</b>               | Sud                                                                                                  | -                         |
| <b>S</b>               | La section de la conduite                                                                            | <b>m<sup>2</sup></b>      |
| <b>S<sub>app</sub></b> | Surface de la zone apport                                                                            | <b>m<sup>2</sup></b>      |
| <b>SE</b>              | Sud Est                                                                                              | -                         |
| <b>Sint</b>            | Surface intérieure totale de la paroi opaque                                                         | <b>m<sup>2</sup></b>      |
| <b>So</b>              | Surface vitrée à l'ombre                                                                             | <b>m<sup>2</sup></b>      |
| <b>SO</b>              | Sud-Ouest                                                                                            | -                         |
| <b>Souv</b>            | Surface d'ouverture dans la paroi opaque                                                             | <b>m<sup>2</sup></b>      |
| <b>Spl</b>             | Surface de plancher du local climatisé                                                               | <b>m<sup>2</sup></b>      |
| <b>Spl</b>             | Surface de plancher                                                                                  | <b>m<sup>2</sup></b>      |
| <b>SV</b>              | Surface totale vitrée                                                                                | <b>m<sup>2</sup></b>      |

|                 |                                                                  |                                      |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>SVenc</b>    | Surface vitrée ensoleillée                                       | <b>m<sup>2</sup></b>                 |
| <b>TSa</b>      | Température sèche de l'air intérieur du local adjacent climatisé | <b>°C</b>                            |
| <b>TSb,e</b>    | Température sèche de base de l'air extérieur                     | <b>°C</b>                            |
| <b>TSb,i</b>    | Température sèche de base de l'air intérieur du local climatisé  | <b>°C</b>                            |
| <b>TSe</b>      | Température sèche de l'air extérieur                             | <b>°C</b>                            |
| <b>TSm</b>      | Température moyenne sèche de l'air extérieur                     | <b>°C</b>                            |
| <b>V</b>        | volume du local                                                  | <b>m<sup>3</sup></b>                 |
| <b>TH</b>       | Titre hydrotimétrique                                            | <b>°f</b>                            |
| <b>V</b>        | La vitesse                                                       | <b>[m/s].</b>                        |
| <b>V inf</b>    | Débit d'air dû aux infiltrations d'air extérieur                 | <b>m<sup>3</sup>/h</b>               |
| <b>V inf,oi</b> | Débit d'infiltration pour l'ouvrant i                            | <b>m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup></b> |
| <b>Pd</b>       | Pression dynamique                                               | <b>Pa</b>                            |
| <b>qn</b>       | Débit nominal de l'appareil                                      | <b>m<sup>3</sup>/s</b>               |

**Autre symboles :**

|                                     |                                                                                                       |           |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b><math>\Delta t_e</math></b>      | Différence de température équivalente                                                                 | <b>°C</b> |
| <b><math>\Delta t_{es}</math></b>   | Différence de température équivalente non corrigé (conditions standard)<br>Pour une paroi à l'ombre   | <b>°C</b> |
| <b><math>\Delta t_{em}</math></b>   | Différence de température équivalente non corrigé (conditions standard)<br>Pour une paroi ensoleillée | <b>°C</b> |
| <b><math>\alpha</math></b>          | Facteur d'absorption de la paroi                                                                      | <b>-</b>  |
| <b><math>\Delta T_{Smax}</math></b> | Différence maximale de température sèche de l'air entre l'extérieur et l'intérieur                    | <b>°C</b> |
| <b><math>\Delta T_{Inc}</math></b>  | Ecart de température entre espace non conditionné et local climatisé                                  | <b>°C</b> |

## Liste des figures

### Chapitre I Les différents systèmes de climatisation

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I.1: Un split system .....                                            | 3  |
| Figure I.2 : Système de la famille du conditionnement d'air "tout air" ..... | 3  |
| Figure I.3 : Poutres froides placés au plafond .....                         | 4  |
| Figure I.4 : Systèmes de pompe à chaleur sur boucle d'eau .....              | 5  |
| Figure I.5 : Schéma explicatif d'un Roof-top .....                           | 6  |
| Figure I.6 : Les quatre éléments d'un circuit frigorifique .....             | 7  |
| Figure I.7 : Schéma d'une installation VRV à 3 tubes .....                   | 8  |
| Figure I.8 : Piège à son installé sur le toit d'un immeuble .....            | 10 |
| Figure I.9 : Différents types de grilles de soufflage .....                  | 10 |
| Figure I.10 : Bride et plenum de reprise .....                               | 11 |
| Figure I.11 : Diagramme de l'air humide .....                                | 12 |

### Chapitre III Bilan Thermique estival

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Figure II.1 : Schéma d'une saillie verticale .....   | 33 |
| Figure II.2 : Schéma d'une saillie horizontale ..... | 34 |
| Figure II.3 : Surface ombré d'un vitrage .....       | 35 |

### Chapitre V Traitement et distribution de l'air

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| Figure V.1 : Diagramme de l'air humide ..... | 53 |
|----------------------------------------------|----|

### Chapitre VI Choix de système

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure VI.1 : Schéma d'une installation VRV 2 tubes à fonctionnement chaud et froid ..... | 70 |
| Figure VI.2 : Exemple de composition d'une centrale de traitement d'air .....             | 75 |
| Figure VI.3 : Filtres à plan gravimétrique (1) et à poche opacimétrique (2) .....         | 76 |
| Figure VI.4 : Caisson de mélange .....                                                    | 77 |
| Figure VI.5 : Batterie froide .....                                                       | 78 |
| Figure VI.6 : Batterie chaude .....                                                       | 79 |
| Figure VI.7: Humidificateur .....                                                         | 81 |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure VI.8 : Plénum .....                                              | 85 |
| Figure VI.9 : Caisson porte-filtre .....                                | 85 |
| Figure VI.10 : Filtre 2en particulaire (poussière) et moléculaire ..... | 86 |

## **Chapitre VII Régulation**

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Figure VII.1 : Schéma d'un régulateur dans la climatisation .....   | 87 |
| Figure VII.2 : Représentation d'une régulation de température ..... | 88 |
| Figure VII.3 : Sondes d'humidité relative .....                     | 90 |
| Figure VII.4 : Schéma d'une régulation à boucle fermé .....         | 92 |

## Liste des Tables

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau I.1 : $\Sigma P$ : Résistances thermiques d'échanges superficiels intérieures et extérieures des parois (été) ..... | 17 |
| Tableau I.2 : La résistance thermique d'une lame d'air .....                                                                | 18 |
| Tableau I.3 : Les coefficients $K_{vn}$ des vitrages nus .....                                                              | 19 |
| Tableau I.4 : Les coefficients $K$ des portes courantes .....                                                               | 19 |
| Tableau I.5 : Caractéristique des différents matériaux de construction utilisée .....                                       | 20 |
| Tableau II.1 : Les caractéristiques climatiques de base de l'air extérieur (été) .....                                      | 22 |
| Tableau II.2 : Valeurs de $C_{TS}$ .....                                                                                    | 23 |
| Tableau II.3 : Rayonnement total de base .....                                                                              | 24 |
| Tableau II.4 : Valeurs des conditions intérieures de base .....                                                             | 25 |
| Tableau II.5 : Les données de base de la zone climatique « site d'Alger » .....                                             | 25 |
| Tableau III. 1 : Gains dus aux occupants .....                                                                              | 36 |
| Tableau III.2 : Apports calorifiques dus aux appareils ménagers et de restaurants .....                                     | 37 |
| Tableau III.3 : Apports de chaleur dus à l'éclairage .....                                                                  | 38 |
| Tableau III.4 : Valeurs de « a » .....                                                                                      | 47 |
| Tableau III.5 : Valeurs de $\Delta T_{S\text{réf}}$ , PH pour les parois horizontales .....                                 | 48 |
| Tableau III.6 : Valeurs de $\Delta T_{S\text{réf}}$ , PV pour les parois verticales .....                                   | 48 |
| Tableau III.7 : Les apports de référence dû au gradient de température à travers une paroi vitrée .....                     | 50 |
| Tableau III.8 : Valeurs de $\Delta T_{S\text{réf}}$ , PVI pour les parois vitrées .....                                     | 51 |
| Tableau IV. 1 : Caractéristiques du Groupe Extérieur (Solution sélectionnée 1) ..                                           | 53 |
| Tableau IV.2 : Caractéristiques de l'Unité Intérieure (Solution sélectionnée 1) ...                                         | 53 |
| Tableau IV.3 : Caractéristiques de la Tuyauterie (Solution sélectionnée 1) .....                                            | 54 |
| Tableau IV.4 : Caractéristiques du Raccord / Collecteur (Solution sélectionnée 1) .....                                     | 54 |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau IV.6 : Caractéristiques des Accessoires (Solution sélectionnée 1) .....     | 54 |
| Tableau IV. 7 : Caractéristiques du Groupe Extérieur (Solution sélectionnée 2) ..   | 55 |
| Tableau IV.8 : Caractéristiques de l'Unité Intérieure (Solution sélectionnée 2).... | 56 |
| Tableau IV.9 : Caractéristiques de la Tuyauterie (Solution sélectionnée 2) .....    | 56 |
| Tableau V.1 : Caractéristiques de l'air .....                                       | 59 |
| Tableau V.2 : Les diamètres des gaines .....                                        | 66 |
| Tableau V.3 : Résultat total des pertes de charge .....                             | 67 |
| Tableau VI.1 : Les avantages et les inconvénients de VRV .....                      | 70 |
| Tableau VI. 2 : Convection naturelle .....                                          | 79 |
| Tableau VI.3 : Convection forcée pour température d'air à 200°C maxi .....          | 80 |
| Tableau VII.1 : Différents types de sondes de température .....                     | 89 |

# **Introduction générale**

### Introduction générale :

Il faut remonter à la Rome antique pour trouver l'apparition des premières techniques de climatisation. Les ingénieurs de l'Empire romain avaient compris toute l'utilité d'utiliser le principe du puits canadien pour avoir une température invariable tout au long de l'année grâce à l'utilisation d'un tunnel souterrain d'apport d'air extérieur.

Si cette première utilisation fut d'abord dans un souci de confort, la climatisation a trouvé d'autres débouchés durant les derniers siècles. En plus de la maîtrise des conditions climatiques d'un intérieur clos, la climatisation est devenue indispensable dans des procédés techniques.

Le but de la climatisation est la création d'une ambiance interne agréable à l'être humain quelle que soit les conditions externes. D'un point de vue sanitaire, un climatiseur sert aussi de déshumidificateur et assainit ainsi l'ambiance.

Dans les laboratoires médicaux et les locaux de fabrication de composants électroniques, le système de climatisation est automatiquement associé à la réalisation initiale du projet.

Étant la meilleure solution pour faire baisser significativement la température dans des procédés techniques menant à réchauffement comme c'est le cas dans les deux exemples précédents, ce système permet aussi d'assurer le bon fonctionnement d'autres technologies.

Ainsi, les salles à forte consommation d'énergie ne peuvent fonctionner sans risquer une surchauffe sans la présence de climatisation. Cette dernière est aussi obligatoire dans les blocs opératoires et c'est le sujet que nous allons étudier dans ce mémoire de fin d'études.

En effet, l'objet de ce travail consiste à assurer une étude bien précise tout d'abord du bilan thermique afin d'évaluer la puissance à installer dans chaque local d'une clinique à Douera dans la wilaya d'Alger ainsi que le traitement de l'air au sein du bloc opératoire.

Ensuite, nous avons concentré notre travail sur le dimensionnement du réseau hydraulique sur l'ensemble de l'établissement étudié avant de calculer les différentes pertes de charge pouvant exister dans ce dernier. Cela nous a permis par la suite de pouvoir déterminer avec exactitude l'équipement adéquat pour l'installation.

Enfin, nous avons évoqué l'installation du système de climatisation VRV (Variable Refrigerant Volume), le traitement et la distribution de l'air ainsi que la question du choix du système. Avant de conclure sur la notion de régulation qui permet de maintenir les paramètres et les grandeurs physiques au sein de la clinique.

# **Chapitre I**

## **Les différents systèmes de climatisation**

## **1 - Introduction :**

Aujourd'hui, il existe plusieurs systèmes permettant de modifier, contrôler et réguler les conditions climatiques d'un habitacle.

En été, une climatisation doit permettre de maintenir la température ambiante du local à environ à 5 à 6°C en dessous de la température extérieure et un taux d'humidité à un niveau acceptable aux alentours de (65%), selon les conditions extérieures.

## **2 - Les Systèmes de climatisation :**

On peut distinguer quatre grands systèmes de climatisation ; système à renouvellement d'air, système de climatisation : tout air, système tout-eau ainsi que le système de pompe à chaleur sur boucle d'eau.

### **2.1 - Systèmes à renouvellement d'air :**

Appelé « système à renouvellement d'air » car ce procédé permet d'offrir un air salubre à tout moment avec un renouvellement d'air constant. Deux systèmes permettent cette action.

Le premier permet de mélanger l'air extérieur avec l'air du local à climatiser grâce à un boîtier-mélangeur fixé à l'extérieur du bâtiment.

Le deuxième utilise une centrale de traitement afin de contrôler et filtrer l'air ambiant dans la pièce.

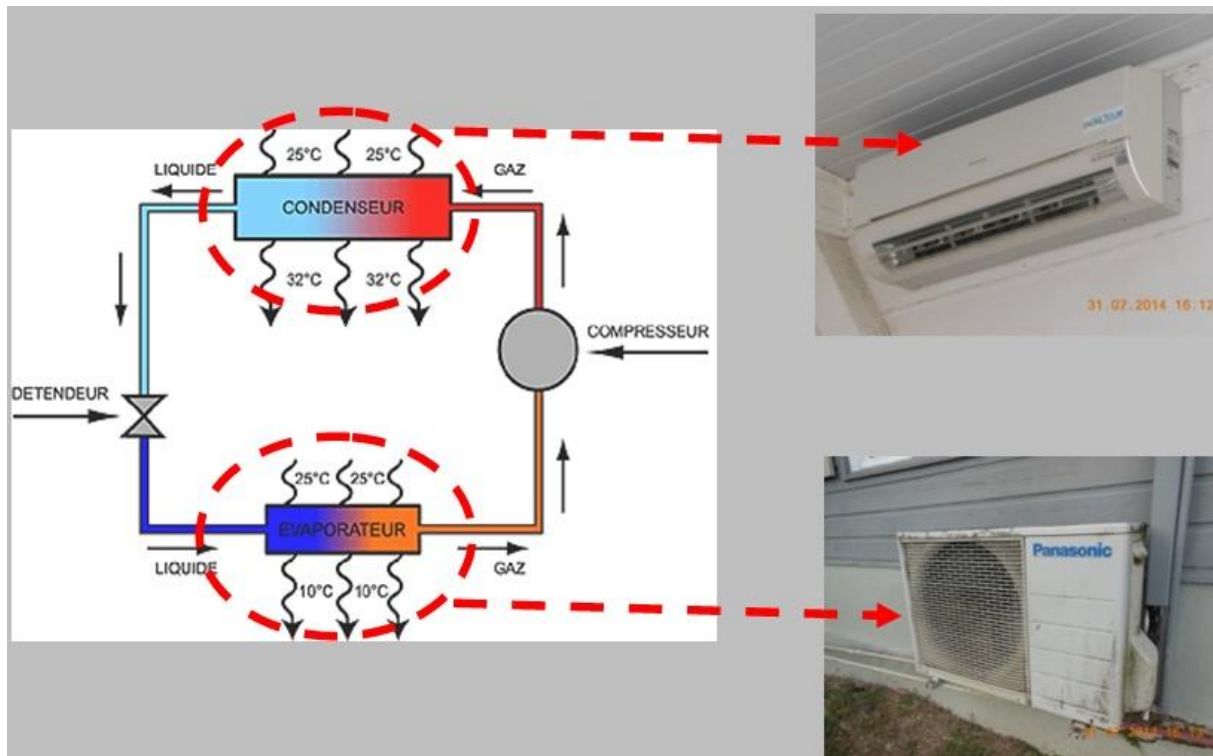


Figure I.1: Un split system

## 2.2 - Systèmes de climatisation : tout air

Dans ce second système, il existe deux niveaux de température d'air qui sont préparés en centrale, puis distribués par deux gaines distinctes vers le local.

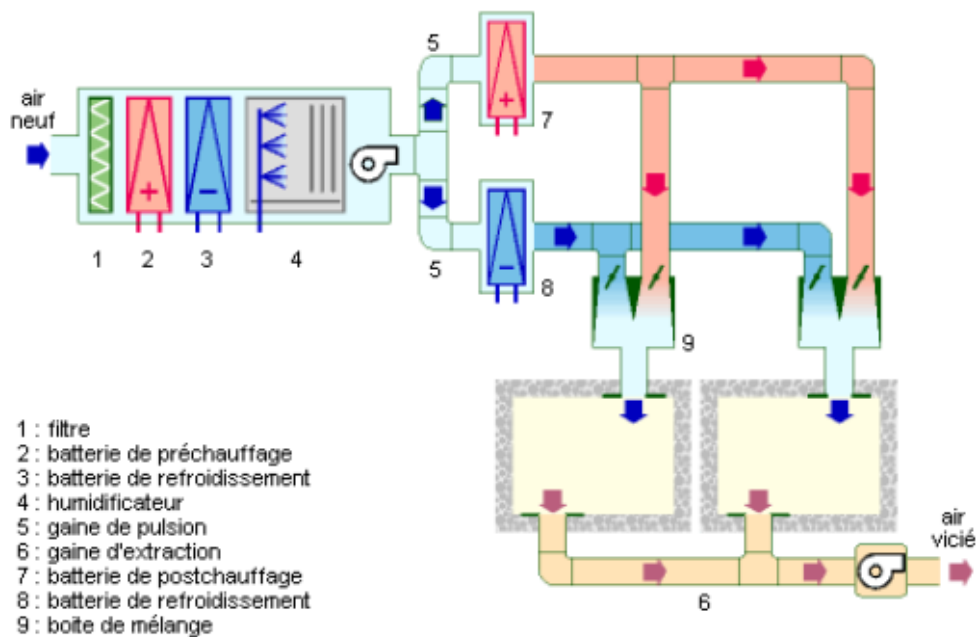


Figure I.2 : Système de la famille du conditionnement d'air "tout air"

Permettant d'utiliser l'air extérieur pour le refroidissement gratuit (free cooling), le « Systèmes de climatisation : tout air » offre une rapidité de la réponse du système à la demande des locaux.

Toutefois, ce système a comme principal inconvénient la consommation élevée des ventilateurs car dimensionné pour une situation extrême.

### **2.3- Systèmes tout-eau :**

Équipé d'une batterie froide et éventuellement d'une batterie chaude, à deux, trois ou quatre tuyaux correspondant à l'aller et au retour de l'eau froide et éventuellement chaude, ce système de climatisation par ventilo-convecteurs est l'un des plus utilisés. Ici aussi, nous pouvons distinguer deux technologies : les ventilo-convecteurs et les poutres froides.

Utilisé dans les locaux où le chauffage est intermittent ; salle des fêtes, salle de conférence etc. Ce système assure à la fois des besoins de chaleur en hiver et des besoins de refroidissement en été.

Ayant l'avantage d'avoir un prix de revient du bâtiment moindre, le système de climatisation par ventilo-convecteurs est toutefois très couteux sur le long terme.

Concernant les poutres froides, ces dernières sont des convecteurs de chauffage placés au plafond destinés à faire du froid. Leurs bonnes installations sont primordiales. Lorsqu'un appareil est de mauvaise qualité, le bruit sera l'élément le plus négatif de cet équipement.

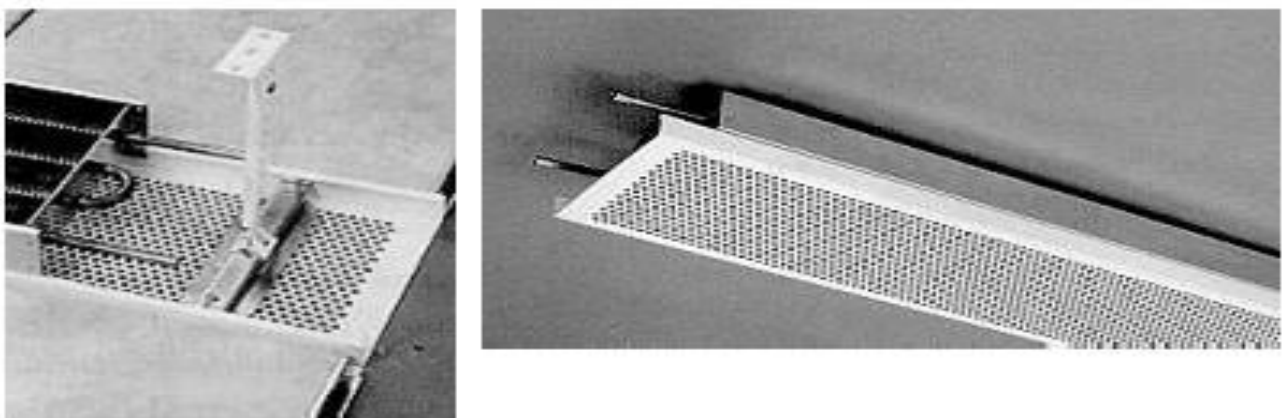


**Figure I.3 :** Poutres froides placés au plafond

## 2.4 - Systèmes de pompe à chaleur sur boucle d'eau :

Utilisé généralement dans les grands ensembles de bureaux, hôtel, galeries commerciales, dont les facteurs climatiques varient dans la journée, ce système fonctionne à partir d'une boucle d'eau en circuit fermé où circule une eau maintenue à une température comprise entre 18° et 40 degrés.

Le système de pompe à chaleur sur boucle d'eau est intéressant en demi-saison lorsque les locaux d'un bâtiment ont besoin de chauffage et de climatisation. Cette technologie permet de transférer l'énergie en minimisant le fonctionnement de la chaudière et la tour de refroidissement.

Une boucle d'eau est réchauffée par des pompes à chaleur lorsqu'elles fonctionnent en refroidissement ou refroidir cette même boucle en mode de chauffage.

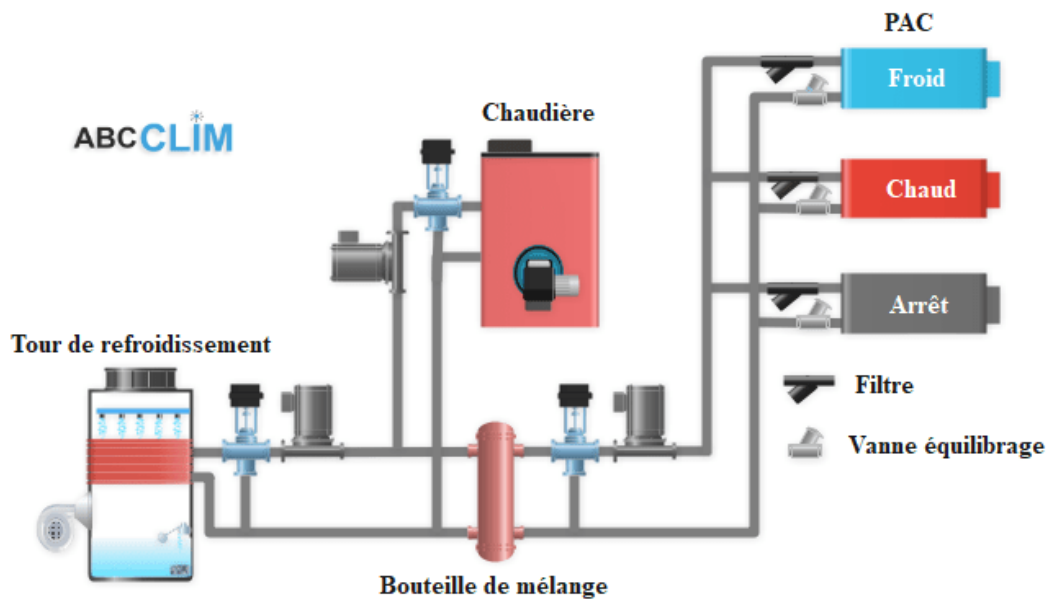


Figure I.4 : Systèmes de pompe à chaleur sur boucle d'eau

## 3 - Roof-top :

Nécessitant uniquement un raccordement électrique et aéraulique, le Roof-top est le meilleur système de climatisation pour les locaux de grandes surfaces sans cloisonnement à l'image des supermarchés, entrepôts etc. Implanté en toiture du local à climatiser, ce système dispose de l'ensemble des équipements nécessaires au fonctionnement dans une seule et unique enveloppe.

Utilisé aussi pour satisfaire la demande de rafraîchissement d'un local, le Roof-top permet de faire des économies d'énergie. Cette seconde utilisation est appelée le «free-cooling».

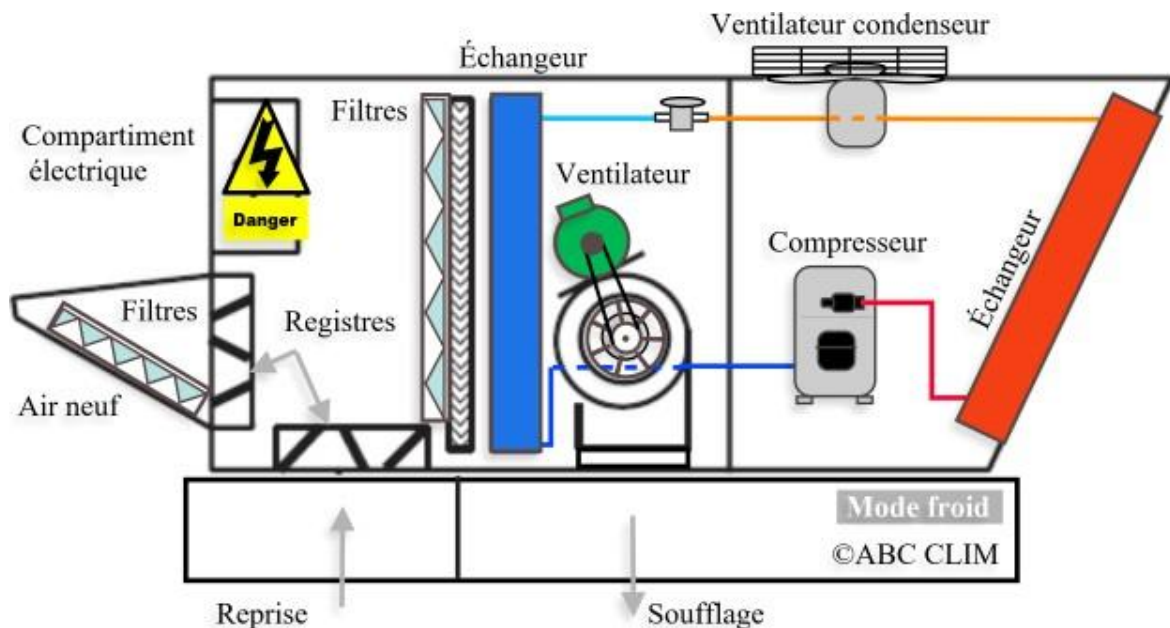


Figure I.5 : Schéma explicatif d'un Roof-top

### 3.1 - Les différents types de Roof-top :

- Froid seul - air / air
- Froid seul - air / air + résistances électriques
- Froid seul - air / air + batterie eau chaude
- Froid seul - air / air + générateur (brûleur gaz)
- Pompe à chaleur (réversible) - air / air + résistances électriques
- Pompe à chaleur (réversible) - air / air + batterie eau chaude

### 4 - Système à détente directe :

Prélevant de la chaleur dans l'air intérieur, tout en refroidissant ce dernier, le climatiseur rejette l'air chaud vers l'extérieur, sur l'évaporateur.

Les condensats formés lors de la climatisation sont évacués soit par gravité (évaporateur au-dessus d'un point d'évacuation) ou bien à l'aide d'une mini-pompe de relevage.

Utilisant directement le fluide réfrigérant comme fluide caloporteur pour évacuer les calories vers l'extérieur, la climatisation à détente directe compte quatre éléments fondamentaux du circuit frigorifique.

### Les quatre éléments fondamentaux du circuit frigorifique :

Un fluide caloporteur passe par quatre éléments fondamentaux afin de produire du froid. Ces éléments influent sur le fluide frigorigène qui connaît un changement d'état à chaque fois. L'ensemble se déroule dans un circuit fermé.

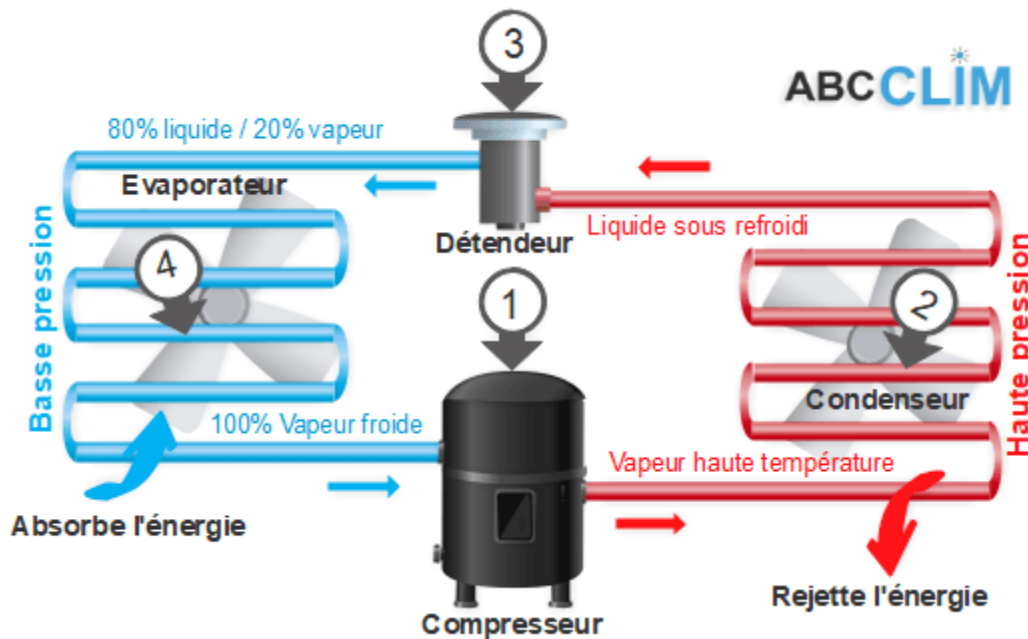


Figure I.6 : Les quatre éléments d'un circuit frigorifique

**4.1- Le compresseur :** Ce premier élément permet d'aspirer le fluide sortant de l'évaporateur à basse pression et à basse température avant de renflouer ce dernier dans le condenseur à haute pression.

**4.2- Le condenseur :** Arrivant à l'état gazeux, le fluide frigorigène est refroidi et rendu à l'état liquide ou saturant en cédant de la chaleur dans le condenseur.

**4.3- Le détendeur :** Ce troisième élément règle le débit de liquide frigorigène admis dans l'évaporateur. Il fixe ainsi la puissance du système de climatisation.

**4.4- L'évaporateur :** Le fluide liquide provenant du détendeur va entrer en ébullition ou évaporation dans l'évaporateur en absorbant de la chaleur au fluide extérieur. Le fluide est ensuite aspiré par le compresseur pour un nouveau cycle.

### 5- La VRV à récupération d'énergie :

Le volume de réfrigérant variable (VRV) est un système, muni d'une détente directe, capable d'adapter automatiquement sa puissance aux besoins thermiques des locaux. Utilisé dans les hôtels, bureaux, grandes villas, le VRV, aussi appelé débit réfrigérant variable (DRV), est capable d'alimenter des unités intérieures via des tubes frigorifiques.

#### 5.1- Le VRV à récupération d'énergie deux tubes :

L'ensemble des unités intérieures sont raccordées à un même groupe extérieur qui fonctionne soit en chauffage, soit en froid. Chaque appareil intérieur est réglé de manière autonome.

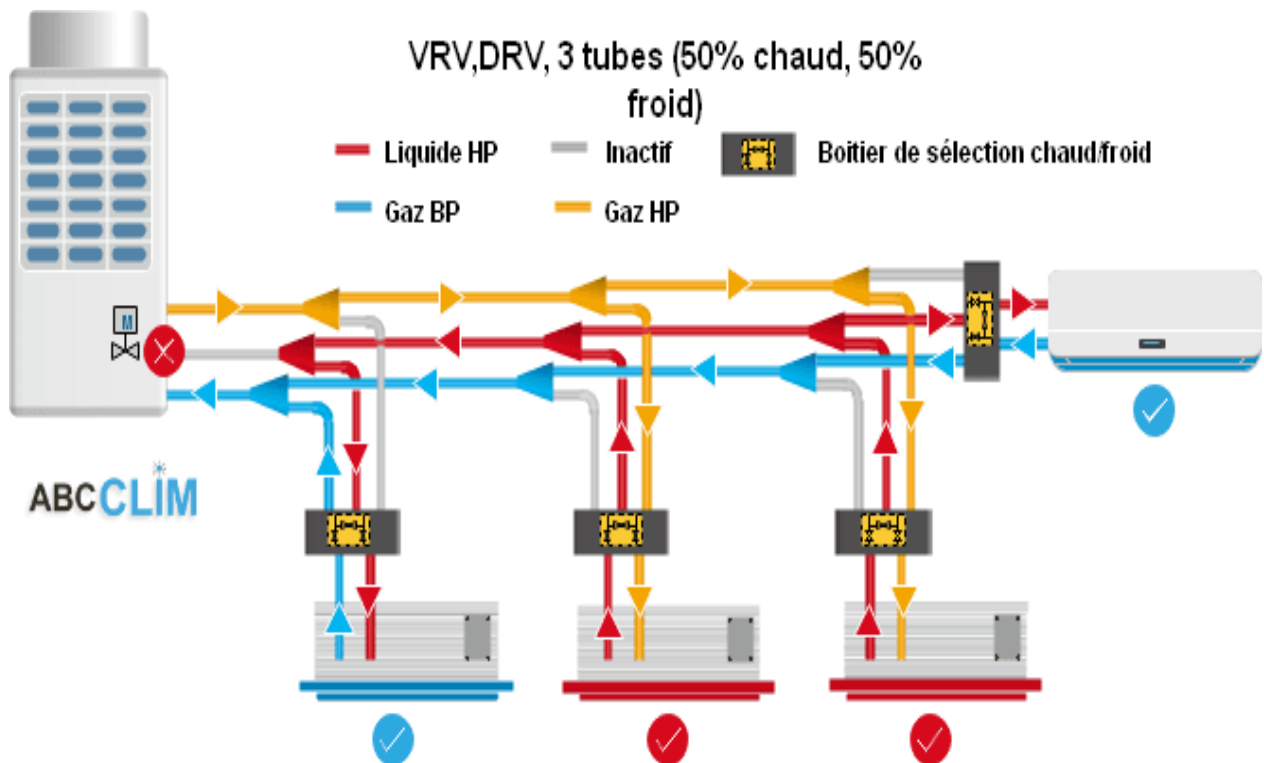


**Figure I.7 :** Schéma d'une installation VRV à 3 tubes

#### 5.2- Le VRV à récupération d'énergie à trois tubes :

Les unités intérieures sont totalement indépendantes dans le choix de leur mode de fonctionnement. La VRV à 3 tubes permet un transfert d'énergie entre les différents appareils, le troisième tube est utilisé pour transférer le fluide frigorigène entre les unités intérieures dont le mode de fonctionnement diffère.

**6- Le confort thermique :**

Si les technologies utilisées pour contrôler et réguler les conditions climatiques d'un habitacle sont de plus en plus nombreuses, c'est notamment car le confort thermique est devenu indispensable lors de la réalisation de nouveaux bâtiments.

Variant d'un individu à un autre, et d'une société à une autre, le confort thermique est l'ensemble des commodités, des agréments qui produisent le bien-être matériel.

L'homme assure le maintien de sa température corporelle autour de 36,7°C. Cette température est en permanence supérieure à la température d'ambiance, aussi un équilibre doit-il être trouvé afin d'assurer le bien-être de l'individu.

Afin que les conditions d'un confort thermique soient respectées, il faut que ce dernier corresponde à un état d'équilibre thermique entre le corps humain et les conditions d'ambiance.

**6.1- L'acoustique des systèmes de ventilation :**

Si la température de l'environnement (air, parois), l'humidité ainsi que les mouvements d'air sont importants pour arriver à un confort thermique satisfaisant, il est aussi indispensable de maîtriser l'acoustique des systèmes de ventilation.

Apportant de l'air frais via des pièces sèches (chambre à coucher, salon etc), les systèmes de ventilation sont au nombre de quatre ; évacuation et apport d'air naturels, évacuation d'air naturelle et apport d'air mécanique, apport d'air naturel et évacuation d'air mécanique et enfin l'évacuation et apport d'air mécaniques.

**6.1.1- Piège à son :**

Permettant de capter les sons dans un flux d'air, le piège à son est un dispositif utilisé pour atténuer l'amplitude des ondes acoustiques.

Un piège à son est composé de revêtement, de laine de roche, absorbant à l'intérieur d'un caisson.



**Figure I.8 :** Piège à son installé sur le toit d'un immeuble

#### 6.1.2- Grille de soufflage :

La grille de ventilation ou d'aération termine un conduit acheminant de l'air entre une ventilation, climatisation ou chauffage et la pièce d'un bâtiment. Cette grille a une fonction aspirante et/ou soufflante, selon la nécessité.



**Figure I.9 :** Différents types de grilles de soufflage

**6.1.3- Plénum climatisation :**

Un plénum permet le raccordement de l'unité intérieure de la climatisation gainable avec le réseau de gaines. Le plénum de soufflage latéral et le plénum de reprise latéral vont permettre le raccordement avec la gaine de la climatisation gainable. L'air sera ensuite diffusé, entrée et sortie dans la pièce grâce aux grilles de soufflage (de type déflexion ou linéaire) et de reprise.



**Figure I.10 :** Bride et plénum de reprise

## 6.2- Plage du confort thermique sur le diagramme de l'air humide :

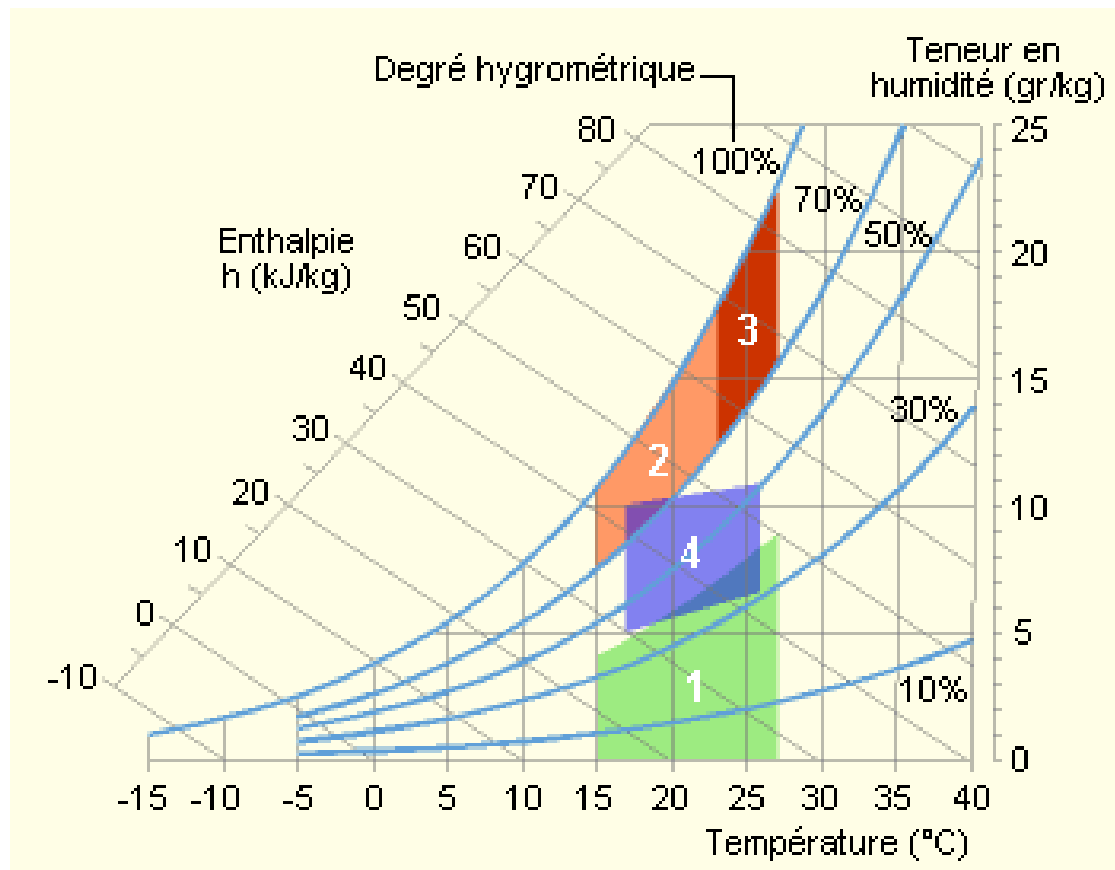


Figure I.11 : Diagramme de l'air humide

Diagramme de l'air humide et polygone de confort hygrothermique, en vert. Source : [Extrait de l'article de R. Fauconnier L'action de l'humidité de l'air sur la santé dans les bâtiments tertiaires parut dans le numéro 10/1992 de la revue Chauffage Ventilation Conditionnement]

- 1 - Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
- 2 - Zones 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.

**7 - Les établissements recevant du public (ERP)**

Dans la Loi n° 19-02 du 14 Dhou El Kaâda 1440 correspondant au 17 juillet 2019 relative aux règles générales de prévention des risques d'incendie et de panique, les ERP sont définis comme suit :

« Tout établissement dans lequel les personnes sont admises soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque ou dans lequel sont tenues des réunions ouvertes à toutes personnes, sur invitation gratuite ou payante. »

Les ERP sont soumis à un cahier de charge ayant pour objectif d'assurer la sauvegarde des personnes et doit permettre l'évacuation rapide du public.

Lors de la visite approfondie d'un établissement, les services concernés étudient plusieurs paramètres dont la ventilation et le chauffage Climatisation.

Ventilation : étude de la ventilation, mais aussi du désenfumage en cas d'incendie (notion primordiale pour l'évacuation du public et la limitation de la propagation).

Chauffage - Climatisation : détermination des risques de mise à feu et de propagation du feu par les générateurs, circuits de chaleur et de froid.

Définir la clinique (classification vis-à-vis de l'ERP) les besoins, le nombre de personnes.

**8 - Impact de la climatisation sur l'environnement :**

Si l'utilisation de la climatisation est devenue indispensable de nos jours, son usage croissant aggrave le réchauffement climatique. Plusieurs études scientifiques prouvent le lien fort entre le réchauffement climatique et l'augmentation de la demande énergétique.

Les chercheurs Bas J. van Ruijven, Enrica De Cian et Ian Sue Wing, dans une publication du 24 juin 2019 dans la revue scientifique Nature Communications, ont mis en évidence le cercle vicieux entre le réchauffement climatique et la hausse de la demande énergétique.

Après l'étude de projections de températures et d'évolution démographique et économique, les trois chercheurs sont arrivés à la conclusion suivante: d'ici 2050, le changement climatique devrait accroître la demande énergétique de 11 à 27% en cas de réchauffement modéré, et de 25 à 58% en cas de réchauffement "fort".

L'Agence internationale de l'énergie estimait que le nombre de climatiseurs dans le monde allait passer de 1,6 milliard d'unités à 5,6 milliards en 2050.

Ainsi, la forte consommation induite par la climatisation augmente significativement au fil du temps à cause du réchauffement climatique. Ce dernier est, quant à lui, causé en partie par la consommation énergétique mondiale.

Ce lien néfaste entre ces deux phénomènes oblige les acteurs du secteur à chercher des alternatives moins énergivores.

Devenu un équipement essentiel pour une vie décente dans de nombreux pays à cause des épisodes caniculaires, la climatisation se doit désormais de consommer moins.

Afin de mener à bien cette mission, il faut penser aux stratégies d'adaptation alternatives (zones vertes, ombrage, isolation) qui permettant aux habitants des villes de ne pas recourir directement à la climatisation.

Plusieurs pistes sont avancées dans cette révolution en marche. Pour que les villes soient moins exposées aux vagues de chaleur, il sera indispensable d'avoir des surfaces artificielles minérales, plus de végétations, des matériaux de construction adaptés ainsi que la présence suffisante d'eau et la climatisation des bâtiments qui réchauffent l'air extérieur.

## **9 - Transfert Thermique :**

L'échange d'énergie interne entre deux systèmes est appelé transfert thermique. Le corps le plus chaud cède de l'énergie au corps le plus froid : il y a transfert thermique, ou par chaleur. Deux corps ayant la même température sont dits en " équilibre thermique ".

Dans la nature, il existe trois types de transfert thermique : la conduction, la convection, le rayonnement. Souvent, une combinaison des différents modes de transfert est rencontrée dans l'étude d'un système donné.

### **9.1 - Conduction :**

La conduction thermique est un mode de transfert se réalisant sans déplacement global de matière à l'échelle macroscopique. Elle est provoquée par une différence de température entre deux milieux en contact ou entre deux régions d'un même milieu.

En pratique, la conduction est l'agitation thermique qui se transmet de proche en proche, une molécule ou un atome cédant une partie de son énergie cinétique à son voisin.

### **9.2 - Convection :**

La convection thermique est l'échange de chaleur entre une surface et un fluide mobile à son contact, ou le déplacement de chaleur au sein d'un fluide par le mouvement d'ensemble de ses molécules. Elle implique les mouvements internes qui animent un fluide.

### **9.3 - Rayonnement**

Le rayonnement thermique représente la capacité d'émission de l'énergie par un matériau, sous forme de radiations. Il est généré par l'agitation thermique de particules dans la matière sous forme d'ondes électromagnétiques caractérisées par leurs longueurs d'ondes.

## **10 – Équation fondamentale de la transmission de chaleur :**

L'étude du flux de chaleur en régime permanent transmis à travers une paroi par unité de temps d'un milieu à un autre du fait de la différence de température est réalisée par l'équation suivante :

$$Q = KS \times \Delta T \quad [W] \quad (1.1)$$

S : (en m<sup>2</sup>) représente la surface d'échange de chaleur ;

$\Delta T$ : (en °C) représente la différence de température entre les deux milieux ;

K : (en W/m<sup>2</sup>. °C) représente le coefficient de transmission thermique

Surfacique de la paroi considérée.

### **10.1 - Coefficient de transmission thermique surfacique des parois K**

Tenant compte des échanges entre les surfaces internes et externes parallèles (ligne de flux perpendiculaires aux faces), le coefficient K est calculé par deux méthodes.

- En utilisant les valeurs pré-calculées, fournies par le document d'avis technique, ou bien fournies directement par le fabricant.
- En calculant le coefficient.

Dans la réalisation d'un bilan thermique en bâtiment, on rencontre la plupart du temps des parois type composite. Elles sont caractérisées par :

- Une conductivité thermique  $\lambda$  et une épaisseur  $e$
- Une résistance thermique  $R$  (mesurée en laboratoire)

## **10.2 - Calcul du coefficient K des parois opaques :**

### **10.2.1 - Principes de calcul :**

Nous avons deux cas de figures dans le calcul du coefficient K liés à l'état de la paroi. Ainsi lorsque cette dernière est homogène sur toute sa surface, le coefficient de transmission thermique surfacique est celui calculé pour la partie courante.

Quand la paroi est hétérogène, le coefficient est le K moyen de la paroi ( $K_{moy}$ ), Celui-ci est donné par la formule ci- après :

$$K_{moy} = \frac{\sum K_i A_i}{\sum A_i} \quad [w/m^2 \text{ } ^\circ C] \quad (1.2)$$

- $A_i$  ( $m^2$ ) : La surface de paroi dont le coefficient de transmission est égal à  $K_i$

$$K_{moy} = \frac{\sum K_i A_i}{\sum A_i} \quad [w/m^2 \text{ } ^\circ C]$$

- $\sum A_i$  ( $m^2$ ) : La surface intérieure totale de la paroi

Cette méthode nous permet de décomposer la paroi en éléments homogènes dont on sait calculer le coefficient K.

### **10.2.2 - Expression générale du coefficient K :**

Le coefficient de transmission thermique surfacique K de la paroi composite est donné par la formule suivante :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n R_i + \sum R_a + \frac{1}{h_e} \quad [m^2 \text{ } ^\circ C/w] \quad (1.3)$$

Ou :

-  $\frac{1}{h_i}$  Résistances thermiques d'échanges superficiels respectivement intérieure, et  $h_i$

extérieure, sont donnés dans le tableau I.1 pour la période hivernale et le tableau I.2 pour la période estivale (en  $m^2 \cdot ^\circ C/w$ ) ;

-  $\sum_{i=1}^n R_I$  : (en  $m^2 \cdot ^\circ C/w$ ) représente la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi ; la détermination de la résistance thermique d'une couche de matériau dépend de la nature de matériau, c'est-à-dire s'il est homogène ou non;

- n : nombre de couches de matériaux formant la paroi ;

-  $\sum R_a$  : (en  $m^2 \cdot ^\circ C/w$ ) représente la somme des résistances des lames d'air.

**Tableau I.1** : Résistances thermiques d'échanges superficiels intérieures et extérieures des parois (été)

| $\frac{1}{h}$<br>$m^2 \cdot ^\circ C/w$                    | Paroi en contact avec :<br>L'extérieur, un passage ouvert, un local ouvert |                 |                                 | Paroi en contact avec :<br>Un autre local, chauffé ou non chauffé, un comble, un vide sanitaire |                 |                                 |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|
|                                                            | $\frac{1}{h_i}$                                                            | $\frac{1}{h_e}$ | $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$ | $\frac{1}{h_i}$                                                                                 | $\frac{1}{h_e}$ | $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$ |
| Latéral<br>(mur)<br>$\alpha > 60^\circ$                    | 0.10                                                                       | 0.04            | 0.14                            | 0.10                                                                                            | 0.11            | 0.21                            |
| Flux<br>ascendant<br>(toiture)<br>$\alpha \leq 60^\circ$   | 0.16                                                                       | 0.04            | 0.20                            | 0.16                                                                                            | 0.17            | 0.33                            |
| Flux<br>descendant<br>(plancher)<br>$\alpha \leq 60^\circ$ | 0.08                                                                       | 0.04            | 0.12                            | 0.08                                                                                            | 0.09            | 0.17                            |

### 10.3 - Résistance thermique d'une couche homogène

Pour une couche homogène, la résistance thermique est donnée par la formule suivante :

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad [m^2 \text{ } ^\circ\text{C W}] \quad (1.4)$$

$R_i$  ( $m^2 \cdot ^\circ\text{C}/w$ ) : La résistance thermique de la couche  $i$  ;

$e_i$  (m) : L'épaisseur de la couche de matériau ;

$\lambda_i$  ( $w \text{ } m \cdot ^\circ\text{C}$ ) : La conductivité thermique du matériau (Tableaux ou bien fournies par le document d'avis technique, ou à défaut fournies par le fabricant). (Annexe 1)

### 10.4 - Résistance thermique d'une couche hétérogène

Afin de connaître la valeur de la résistance thermique d'une couche hétérogène, on se réfère aux tableaux ou bien au document d'avis technique fournie par le fabricant. Elle est donnée directement en fonction de l'épaisseur de la couche de matériau.

### 10.5 - Résistance thermique d'une lame d'air

La résistance thermique d'une lame d'air est obtenue à partir du tableau suivant :

**Tableau I.2 :** La résistance thermique d'une lame d'air

| Position de la lame d'air | Sens du flux de chaleur | Epaisseur de la lame d'air en mm |             |             |             |             |             |             |
|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                           |                         | 5à7                              | 7.1à 9      | 9.1à11      | 11.1à13     | 14à24       | 25à50       | 55à300      |
| <b>Horizontale</b>        | <b>Ascendant</b>        | <b>0.11</b>                      | <b>0.12</b> | <b>0.13</b> | <b>0.14</b> | <b>0.14</b> | <b>0.14</b> | <b>0.14</b> |
| <b>Verticale</b>          |                         | <b>0.11</b>                      | <b>0.13</b> | <b>0.14</b> | <b>0.15</b> | <b>0.16</b> | <b>0.16</b> | <b>0.16</b> |
| <b>Horizontale</b>        | <b>Descendant</b>       | <b>0.12</b>                      | <b>0.13</b> | <b>0.14</b> | <b>0.15</b> | <b>0.16</b> | <b>0.18</b> | <b>0.20</b> |

### 10.6 - Calcul du coefficient K des parois vitrées :

Calcul du coefficient K des parois vitrées :

$$\frac{1}{K} + \frac{1}{K_{vn}} + r_v + r_{rid} + r_{occ} \quad [m^2 \cdot ^\circ\frac{C}{w}] \quad (1.5)$$

$K_{vn}$  (W/m<sup>2</sup> °C) : Le coefficient K du vitrage nu ;

$r_v$  (m<sup>2</sup> °C/W) : La résistance supplémentaire des voilages éventuels ; on adopte  $r_v = 0,025$  m<sup>2</sup> °C/W ;

$r_{rid}$  (m<sup>2</sup> °C/W) : La résistance supplémentaire des rideaux éventuels

On adopte  $r_{rid} = 0,030$  m<sup>2</sup> °C/W

Les coefficients  $K_{vn}$  des vitrages nus sont donnés par le tableau suivant :

**Tableau I.3 :** Les coefficients  $K_{vn}$  des vitrages nus

| Type de vitrage | Epaisseur de la lame d'air (mm) | Nature de la menuiserie | Paroi verticale | Paroi horizontale |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|
| Vitrage simple  | -                               | Métal                   | 5,80            | 6,5               |

## 10.7 - Coefficient K des portes :

### 10.7.1 - Portes courantes :

Les coefficients de transmission thermique surfacique K (en W/m<sup>2</sup>.°C) des portes courantes sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau I.4 :** Les coefficients K des portes courantes

| K (W/m <sup>2</sup> .°C)          | Portes donnant sur l'extérieur | Portes donnant sur un local non climatisé |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|
| Portes en métal                   |                                |                                           |
| Portes opaques                    | 5,80                           | 4,50                                      |
| Portes équipées de vitrage simple | 5,80                           | 4,50                                      |

**10.7.2 - Les coefficients K des portes particulières :**

Les coefficients de transmission thermique surfacique K (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) des portes particulières se rapportent aux Avis Techniques.

**10.8 - Calcul de coefficient de transmission thermique surfacique des parois "K"**

**Tableau I.5 :** Caractéristique des différents matériaux de construction utilisée

| Désignation                                 | Composition                                                                   | Epaisseur                    | Cond.thermique           | K    |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|------|
| Mur à double cloison (Ext)                  | - Enduit ciment<br>- Brique creuse<br>- Lame d'air<br>-Enduit plâtre          | 1,5<br>R=0,20<br>R=0,20<br>2 | 1,3<br><br><br>0,35      | 1,31 |
| Mur de séparation à une seule cloison (Int) | - Enduit ciment<br>- Brique creuse<br>-Enduit plâtre                          | 1,5<br>R=0,20<br>2           | 1,3<br><br>0,35          | 1,90 |
| Plancher supérieur (plafond)                | - Béton armé<br>- Hourdis<br>- Couche de plâtre                               | 5<br>R= 0,16<br>2            | 1,75<br><br>0,35         | 2,24 |
| Plancher inférieur                          | - Carrelage<br>- Sable sec<br>- Béton armé<br>- Hourdis<br>- Couche de plâtre | 2<br>3<br>5<br>R=0,16<br>2   | 1<br>0,6<br>1,75<br>0,35 | 2,06 |
| Portes opaques                              | Bois                                                                          |                              |                          | 2    |
| Voile                                       | - Enduit ciment<br>-Béton armé<br>- Enduit plâtre                             | 1,5<br>R=0,17<br>2           | 1,3<br><br>0,35          | 2,65 |

## **Chapitre II**

### **Données de base utilisées en climatisation**

**1- Introduction :**

Afin de mener à bien notre étude et réaliser un bilan thermique estival, il nous faut connaître plusieurs données de base liées à la situation géographique, la zone climatique de la région où est implanté le projet. Il est aussi important de préciser les conditions thermiques de base de l'air en contact avec l'immeuble à conditionner.

**2- Situation géographique :**

Pour avoir une idée précise de la situation géographique de notre projet, il nous faut connaître les informations suivantes :

- L'altitude du site étudié par rapport au niveau de la mer
- La latitude de la région où est implantée le projet
- La longitude de la région où est implantée le projet
- L'orientation des locaux vis-à-vis du soleil
- La Wilaya et la commune où se situe le projet

**3- Zone climatique :**

La zone climatique d'un projet est connue en se référant à l'Annexe 2. Ce dernier classifie les zones thermiques en fonction des communes d'Algérie.

**4 - Conditions de base :**

Déterminante pour trouver la détermine la différence de température et d'humidité absolue entre l'air extérieur et l'air intérieur, les conditions de base possèdent une grande influence sur le bilan thermique de l'installation. Il existe deux types de conditions de base selon la saison et l'environnement :

1. Conditions extérieures de base (été/hiver) ;
2. Conditions intérieures de base (été/hiver).

**5 - Conditions extérieures de base (été) :**

**5.1- Les caractéristiques de l'air extérieur :**

L'air extérieur est défini par plusieurs critères :

- La température sèche de base  $TSb, e$  (en °C),
- L'humidité spécifique (absolue) de base  $HSb, e$  (en  $gvap/Kgas$ ),
- L'écart diurne de base  $Eb$  (en °C),
- La température moyenne sèche  $TSm$  (en °C).
- L'humidité spécifique (absolue) de base de l'air extérieur ( $HSb, e$ ) est la moyenne mensuelle durant le mois le plus chaud de l'humidité spécifique à 15 heures.
- L'écart diurne de base ( $Eb$ ) est la moyenne mensuelle durant les mois de Juillet et d'Août de la différence entre les températures sèches maxima et minima de l'air extérieur durant une journée.
- La température moyenne est la moyenne mensuelle durant les mois de Juillet et d'Août de la température moyenne quotidienne.
- L'écart annuel de température (EAT) est l'écart de température entre la température de base en été ( $TSb, e$ ) et la température de base en hiver ( $TSb, h$ )

Les caractéristiques climatiques de base de l'air extérieur en été sont données dans le tableau suivant :

**Tableau N° 1 : Les caractéristiques climatiques de base de l'air extérieur (été)**

| <b>Zone climatique</b> | <b>Température sèche TS(°C)</b> | <b>Humidité spécifique HS (gvap/Kgse)</b> | <b>Ecart diurne de base Eb (°C)</b> | <b>Température sèche moyenne TSm (°C)</b> | <b>Ecart annuel de température EAT (°C)</b> |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| A                      |                                 |                                           |                                     |                                           |                                             |
| Alt<500m               | 34                              | 14,5                                      | 9                                   | 25,5                                      | 31                                          |
| 500<alt<1000m          | 33,5                            | 13                                        | 10                                  | 25                                        | 32,5                                        |
| alt≥ 1000m             | 30,5                            | 13                                        | 9                                   | 22,5                                      | 31,5                                        |

Nous utiliserons la formule suivante afin de déterminer la température sèche de l'air extérieur à l'heure T pour les mois de Juillet et d'Août :

$$TS_{e(t)+TS_{b,e}} - [C_{rs}(t) \times E_b] \quad [^{\circ}C] \quad (2.1)$$

- $TS_{e(t)}$  (en  $^{\circ}C$ ) représente la température sèche de l'air extérieur à l'heure T
- $TS_{b,e}$  (en  $^{\circ}C$ ) représente la température sèche de l'air extérieur
- $C_{rs}(t)$  représente un coefficient correcteur ; les valeurs de  $CTS(t)$  sont données dans le tableau II.2 en fonction de l'heure T
- $E_b$  (en  $^{\circ}C$ ) représente l'écart diurne de base sont donnés dans tableau 5.

**Tableau N° 2 : Valeurs de  $C_{TS}$**

| Heure        | 0  | 1   | 2  | 3  | 4   | 5   | 6  | 7  | 8    | 9  | 10 | 11 |
|--------------|----|-----|----|----|-----|-----|----|----|------|----|----|----|
| $C_{rs}(\%)$ | 67 | 80  | 87 | 94 | 100 | 100 | 93 | 85 | 77   | 63 | 48 | 35 |
| Heure        | 12 | 13  | 14 | 15 | 16  | 17  | 18 | 19 | 20   | 21 | 22 | 23 |
| $C_{rs}(\%)$ | 21 | 6.7 | 0  | 0  | 0   | 4.7 | 12 | 20 | 28.5 | 32 | 43 | 53 |

## 6- Valeurs du rayonnement de base

Correspondant aux apports de chaleur maxima, non amortis, dû au rayonnement solaire à travers un vitrage de référence dans les conditions de référence, le rayonnement total de base,  $It, b$  (en  $w/m^2$ ) sera déterminé grâce au tableau suivant.

De son côté, le rayonnement diffus de base,  $Id, b$  (en  $w/m^2$ ), qui correspond aux apports de chaleur maximal, non amortis, dus au rayonnement solaire à travers un vitrage de référence à l'ombre (c'est-à-dire pour la direction Nord) dans les conditions de référence, sera lui aussi donnée par le tableau suivant ;

Tableau N° 3 : Rayonnement total de base

| Rayonnement total de base $I_{c,b}$ et diffus de base $I_{d,b}$ (en w/m2) |           |             |     |     |     |     |     |     |     |        |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| Latitude Nord                                                             | Mois      | Orientation |     |     |     |     |     |     |     |        |
|                                                                           |           | N           | NE  | E   | SE  | S   | SO  | O   | NO  | Horiz. |
| 20°                                                                       | Juillet   | 59          | 435 | 514 | 267 | 44  | 267 | 514 | 435 | 791    |
|                                                                           | Aout      | 34          | 372 | 520 | 356 | 81  | 356 | 520 | 372 | 778    |
|                                                                           | Septembre | 31          | 273 | 514 | 441 | 205 | 441 | 514 | 273 | 733    |
| 30°                                                                       | Juillet   | 50          | 413 | 516 | 315 | 94  | 315 | 526 | 413 | 776    |
|                                                                           | Aout      | 34          | 340 | 520 | 406 | 198 | 406 | 520 | 340 | 741    |
|                                                                           | Septembre | 28          | 284 | 498 | 479 | 330 | 479 | 498 | 284 | 668    |
| 40°                                                                       | Juillet   | 47          | 400 | 526 | 394 | 217 | 394 | 516 | 400 | 734    |
|                                                                           | Aout      | 34          | 321 | 511 | 459 | 321 | 459 | 511 | 321 | 675    |
|                                                                           | Septembre | 28          | 183 | 470 | 511 | 441 | 511 | 470 | 183 | 577    |

### 6.1- Détermination du rayonnement réel :

Après avoir trouvé les valeurs du rayonnement total et diffus de base, il nous faudra connaître leurs effets réels sur les parois de la construction étudiée qui dépendra de la limpidité de l'atmosphère, de l'altitude, de l'humidité de l'air, de l'orientation, de la latitude et du mois considérés.

Afin de calculer le rayonnement total maximal réel  $I_t$  et le rayonnement diffus maximal réel  $I_d$  ; on utilise les formules suivantes [4] :

$$I_t = [C_{cadre} \cdot C_{limp} \cdot C_{alt} \cdot C_{ros}] I_{t,b} \text{ [w/m2]} \quad (2.2) \quad (\text{Annexe 3})$$

$$I_d = [C_{cadre} \cdot C_{limp} \cdot C_{alt} \cdot C_{ros}] I_{d,b} \text{ [w/m2]} \quad (2.3) \quad (\text{Annexe 3})$$

### 7- Condition intérieure de base :

La température sèche de base de l'air intérieur  $TSb,i$  (en °C) et l'humidité relative de base de l'air intérieur  $HSb,i$  (en%) définissent les conditions intérieures de base. Dans l'optique d'obtenir le confort thermique recherché, il faudra respecter les conditions de base que l'on désire avoir dans notre construction.

**Tableau N° 4 : Valeurs des conditions intérieures de base**

| Application                                                                    | Niveau de confort amélioré |                       | Niveau de confort normal |                       |                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|
|                                                                                | Température sèche (°C)     | Humidité relative (%) | Température sèche (°C)   | Humidité relative (%) | Accroissement toléré de la température (°C) |
| Séjour de longue durée<br><br>Logement, hôtel, bureaux, hôpital, école, etc... | 24                         | 45                    | 27                       | 50                    | 2                                           |

### 8 - Données du site :

Les données de base de la zone climatique « site d'Alger » sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau N° 5 : Les données de base de la zone climatique « site d'Alger »**

| Tsbe=34 [°C]  |              |             |             |             |             |             | Ti=24 [°C] |            |            |            |            |        |             |
|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|-------------|
| Heure solaire | 6            | 7           | 8           | 9           | 10          | 11          | 12         | 13         | 14         | 15         | 16         | 17     | 18          |
| CTs(t)        | 0,93         | 0,85        | 0,77        | 0,63        | 0,48        | 0,35        | 0,21       | 0,067      | 0          | 0          | 0          | 0,047  | 0,12        |
| Eb [°C]       | 9            | 9           | 9           | 9           | 9           | 9           | 9          | 9          | 9          | 9          | 9          | 9      | 9           |
| TSe(t) [°C]   | 25,63        | 26,35       | 27,07       | 28,33       | 29,68       | 30,85       | 32,11      | 33,39<br>7 | 34         | 34         | 34         | 33,577 | 32,92       |
| TSb,i         | 24           | 24          | 24          | 24          | 24          | 24          | 24         | 24         | 24         | 24         | 24         | 24     | 24          |
| Δtmax [°C]    | 1,63         | 2,35        | 3,07        | 4,33        | 5,68        | 6,85        | 8,11       | 9,397      | 10         | 10         | 10         | 9,577  | 8,92        |
| CΔTe [°C]     | -5,552       | -4,850      | -4,130      | -2,887      | -1,604      | -0,450      | 0,804      | 2,027      | 2,600      | 2,600      | 2,600      | 2,198  | 1,574       |
| β (degrés)    | 11,917       | 23,917      | 36          | 47,083      | 59,083      | 69,166      | 73,24<br>9 | 69,16<br>6 | 59,08<br>3 | 47,08<br>3 | 36         | 23,917 | 11,917      |
| Φ (degrés)    | -<br>106,083 | -<br>98,083 | -<br>89,249 | -<br>79,249 | -<br>65,415 | -<br>42,415 | 0          | 42,41<br>5 | 65,41<br>5 | 79,24<br>9 | 89,2<br>49 | 98,083 | 106,08<br>3 |

# **Chapitre III**

## **Bilan Thermique estival**

**1 - Introduction**

L'établissement d'un bilan thermique est systématique dans tout projet de climatisation d'une construction. Il permettra après son élaboration de connaître avec exactitude la quantité d'énergie qu'il faudra pour chauffer ou refroidir un local donné. De ce fait, il nous renseigne sur la méthode d'exploitation et puissance de l'installation à fournir, ainsi que son coût. Aussi, une installation qui ne répond pas aux normes exigées d'engendrer un inconfort.

Les échanges calorifiques se font par transmission entre l'intérieur et l'extérieur à travers les murs, les vitres, les toitures et les planchers. Lorsque la température extérieure est supérieure à la température intérieure, la chaleur pénètre à l'intérieur, dans le cas inverse la chaleur quitte l'intérieur dans un sens comme dans l'autre les apports ou les déperditions sont nuisibles au confort et à la dépense énergétique.

Dans l'établissement d'un bilan thermique, il faut aussi prendre en considération d'autres échanges ; les apports des personnes résidants dans l'immeuble, les éclairages (source de chaleur), les ouvertures et accès ouverts sur l'extérieur ou sur des locaux non climatisés, et toute source de chaleur comme la chaleur dégagée par les machines.

On se réfère aux à partir des méthodes proposées dans les Documents Techniques Réglementaires (DTR) pour l'établissement d'un bilan thermique.

À noter aussi que nous avons utilisé le DTR afin de déterminer l'ensemble des équations présentes dans ce chapitre consacré au bilan thermique estival.

**2 - Bilan thermique estival :**

Contrairement au bilan thermique hiver où l'on considère un régime stationnaire, on doit considérer un régime variable dans le cas d'un bilan thermique été car l'ensoleillement et la température extérieure varient constamment tout au long de la journée.

Le calcul du bilan thermique d'été dépend de la construction, de l'orientation, de l'équipement et de l'utilisation du local.

Aussi, il faudra tenir compte de de l'inertie thermique (effet d'emmagasinement des parois), de-là non simultanéité des valeurs maximales des divers gains.

Les gains de chaleur instantanés d'un local comprennent les gains par l'insolation (rayonnement solaire), par l'éclairage, par les occupants, par les appareils divers, par transmission à travers les parois, vitrages, etc...

Afin de mettre en place un bilan thermique, on tiendra compte des points suivants :

- Destination des locaux ;
- Dimensions des locaux ;
- Matériaux de construction (la nature, l'épaisseur et la composition des murs) ;
- Conditions de base intérieures et extérieures ;
- Le nombre et la durée d'occupants et d'occupation ;
- La durée de fonctionnement de l'installation ;
- Le type d'éclairage ainsi que la puissance installée pour l'éclairage ;
- L'emplacement de l'équipement et le réseau de distribution d'air et d'eau ;
- L'orientation de l'immeuble et la situation des locaux par rapport.

### **3 - Le calcul des apports calorifiques des bâtiments :**

Pour déterminer la puissance de l'installation de climatisation, on doit procéder à un calcul des charges thermiques influant sur les conditions intérieures du local. Selon leurs origines, on peut distinguer deux grandes catégories de charges ; les charges d'origine externe et les charges d'origine interne.

- 1- Les charges d'origine interne correspondent aux quantités de chaleur dégagées sous forme latente ou sensible à l'intérieur du local à climatiser. En d'autres termes, l'apport de chaleur en provenance d'une source située à l'intérieur même du local étudié.

Les principales sources de chaleur en provenance de l'intérieur :

- Les occupants ;
- L'éclairage ;
- Les machines dégageant de la chaleur ;

- L'air chaud circulant dans un conduit aéraulique ;
  - L'eau chaude dans une tuyauterie.
- 2- Les charges d'origine externe représentent les quantités de chaleur pénétrant dans le local étudié. Ces charges représentent l'apport de chaleur qui provient d'une source située à l'extérieur du local.

Les principales sources de chaleur en provenance de l'extérieur :

- Le rayonnement solaire à travers une surface translucide (vitrée) ;
- Le transfert de chaleur dû au gradient de température à travers une paroi. On distingue deux cas : les parois donnant sur l'extérieur et les parois ne donnant pas sur l'intérieur ;
- Le renouvellement d'air ;
- Afin de calculer les apports calorifiques d'un bâtiment, il faut suivre plusieurs étapes ;
- Définir les volumes thermiques à savoir un volume d'air dont les conditions intérieures sont supposées être homogènes ;
- Déterminé les apports caloriques pour chaque volume thermique, et cela en fonction de toutes les heures de la journée ;
- Déterminé les apports calorifiques effectifs ;
- Déterminé la puissance frigorifique.

Les calculs précédents doivent obligatoirement être opérés pour les trois mois de l'été: Juillet, Août et Septembre.

#### **4- Formules générales :**

##### **4.1- Calcul des apports :**

On calcule les apports calorifiques sensibles et latents par les équations suivantes :

$$A_S = APO + AV + AI_S + AINF_S \text{ [W]} \quad (3.1)$$

$$Al = AIl + AINFl \text{ W}] \quad (3.2)$$

Où :

- $APO$  (en  $w$ ) représente les apports calorifiques à travers les parois opaques;
- $AV$  (en  $w$ ) représente les apports calorifiques à travers les parois vitrées;
- $Ai_s$  et  $Al_l$  (en  $w$ ) représentent les parties sensibles et latentes des apports internes.
- $AINF_s$  et  $AINF_l$  (en  $w$ ) représentent les parties sensibles et latentes des apports calorifiques dus aux infiltrations d'air extérieur;

#### 4.2 - Vérification réglementaire

La relation suivante vérifie la somme des apports calorifiques par les parois vitrées et les parois opaques aériennes au mois de Juillet à 15 h TSV, pour une température sèche intérieure de 27°C :

$$APO(15 h) + AV(15 h) = 1,05 \times Aréf(15h)[W] \quad (3.3)$$

- $APO$  (en  $W$ ) désigne les apports calorifiques à travers les parois opaques aériennes ;
- $AV$  (en  $W$ ) désigne les apports calorifiques à travers les parois vitrées ;
- $Aréf$  (en  $W$ ) désigne les apports calorifiques de référence.

#### 5- Apports de chaleur à travers les parois opaques :

##### 5.1- Parois aériennes :

En contact direct avec l'air extérieur, les parois opaques aériennes ont la particularité d'avoir un flux calculé avec la notion de «différence de température équivalente » (en °C) notée  $\Delta te(t)$ . La différence de température équivalente à un instant donné est une différence de température fictive qui produirait au même instant, en régime permanent, le même apport de chaleur dans le local que celui produit par le régime variable (2).

Afin de calculer les apports de chaleur à travers une paroi opaque aérienne à un instant (t), APO(t), on utilise la formule suivante :

$$APO(t) = 1,2 \times K_{\text{été}} \times S_{\text{int}} \times \Delta t_e(t) \quad (3.4)$$

- 1.2 (sans dimension) est un coefficient majorateur tenant compte des apports latéraux linéiques (à travers les ponts thermiques);
- $K$  (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) est le coefficient de transmission thermique surfacique de la paroi considérée pour l'été; tableau I.6
- $S_{\text{int}}$  (en  $m^2$ ) est la surface intérieure totale de la paroi considérée ; pour les toitures en pente, on prendra la projection horizontale de la surface;
- $\Delta t_e(t)$  (en  $^\circ C$ ) est la différence de température équivalente à l'heure t pour le type de la paroi considérée.

## 5.2- Différence de température équivalente $\Delta t_e(t)$ :

### 5.2.1- Pour une paroi ensoleillée:

$$\Delta t_e(t) = \Delta t_{\text{es}}(t) + C \Delta t_e + \alpha / 0.9 \times [\Delta t_{\text{em}}(T) - \Delta t_{\text{es}}(t)] \times (I_t, b) / (I_t, b(40)) \quad (3.5)$$

### 5.2.2 - Paroi à l'ombre :

$$\Delta t_e(t) = \Delta t_{\text{es}}(t) + C \Delta t_e \quad (3.6) \quad (\text{Annexe 4})$$

- $\Delta t_{\text{es}}(t)$  (en  $^\circ C$ ) est la différence de température équivalente non corrigée (conditions standard) à l'heure t en considérant que la paroi est à l'ombre (Annexe 4) ;
- $C \Delta t_e$  facteur de correction en fonction de l'écart diurne ( $E_b$ ) et la différence maximale de température sèche de l'air entre l'intérieur et l'extérieur ( $\Delta T_{\text{Smax}}$ ) pour le mois considéré (Annexe 5) ;
- $\alpha$  facteur d'absorption de la paroi extérieure, il est donné en fonction de la couleur de la paroi, si elle est peinte, si non en fonction des matériaux constituant cette paroi ;
- $\Delta t_{\text{em}}(t)$  différence de température équivalente à l'heure (t) en fonction de l'orientation de la paroi considérée (Annexe 4) ;

- $It, b$  rayonnement total de base pour le mois, la latitude et l'orientation considérée ;
- $It, b(40)$  rayonnement total de base pour le mois de juillet, la latitude de 40° Nord et pour l'orientation considérée.

### 5.2.3- Parois intérieures :

Traversant une paroi opaque en contact avec un local non conditionné, les apports de chaleur à un instant  $t$ ,  $APO(t)$ , sont calculés de la façon suivante :

$$APO(t) = K_{été} \times S_{int} \times \Delta t_{lnc}(t) \quad (W) \quad (3.7)$$

- $K_{été} \left( en \frac{W}{m^2} \cdot ^\circ C \right)$  est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée,
- $S_{int}$  (en  $m^2$ ) est la surface intérieure de la paroi considérée,
- $\Delta t_{lnc}$  (en  $^\circ C$ ) représente l'écart de température entre l'espace non conditionné et le local considéré.

$\Delta t_{lnc}$  est donné par la formule suivante (3) :

$$\Delta t_{lnc} = [(T_{se} - C_{lnc}) - T_{sb, i}] \quad (^\circ C) \quad (3.8)$$

- $T_{se}(t)$  (en  $^\circ C$ ) est la température extérieure sèche à l'instant considéré ;
- $C_{lnc}$  (en  $^\circ C$ ) est un coefficient correcteur ;
- $T_{sb, i}$  (en  $^\circ C$ ) représente la température intérieure du local conditionné.

### Apports à travers les parois vitrées :

Les gains dû au rayonnement solaire à travers les parois vitrées extérieures  $AVE(t)$  sont donnés par :

$$AVE(t) = [SV_{en} \times s \quad It + (SV - SV_{ens}) \times Id] \times FS \times NPVI(t) \quad (W) \quad (3.9)$$

- $SV$  (en  $m^2$ ) est la surface totale vitrée ;
- $SV_{ens}$  (en  $m^2$ ) est la surface vitrée ensoleillée (pour la détermination des parties ensoleillées) ;
- $SV - SV_{ens}$  (en  $m^2$ ) est la surface vitrée à l'ombre (pour la détermination de

parties ensoleillées) ;

- $I_t \left( \text{en } \frac{W}{m^2} \right)$  est le rayonnement total maximal réel ;
- $I_d \text{ (en } W/m^2 \text{)}$  est le rayonnement diffus maximal réel ;
- $N_{pvi}(t)$  représente le coefficient d'amortissement relatif aux gains par ensoleillement à travers les parois vitrées à l'heure  $t$  considérée ;
- FS est le facteur solaire du vitrage (Annexe 6).

## 6- Calcul de la surface ensoleillée et ombrée du vitrage :

Lors d'une étude d'une construction donnée, il faut identifier les bâtiments l'entourant afin de connaître leur impact au sujet de l'ensoleillement. Les ombres projetées par les parties en saillie de la construction ou par les bâtiments environnants protèges plus ou moins la construction étudiée de l'ensoleillement.

Afin de savoir si un vitrage ou une façade est à l'ombre ou non, il faut auparavant connaître :

- Les coordonnées apparentes du soleil (paramètres solaires) par rapport à la façade ;
- Les dimensions caractéristiques de la saillie ou du retrait du vitrage.

Les coordonnées apparentes du soleil par rapport au vitrage (ou à la façade) sont données par les figures (figure III.1 et figure III.2). On distingue :

- La hauteur  $b$  (en degrés) du soleil au-dessus de l'horizon. Cette dernière, en un lieu donné varie de  $0$  à  $90^\circ$  ;
- L'azimut  $\Phi$  (en degrés) du soleil par rapport à la normale à la façade considérée.

### 6.1- Cas d'une saillie verticale

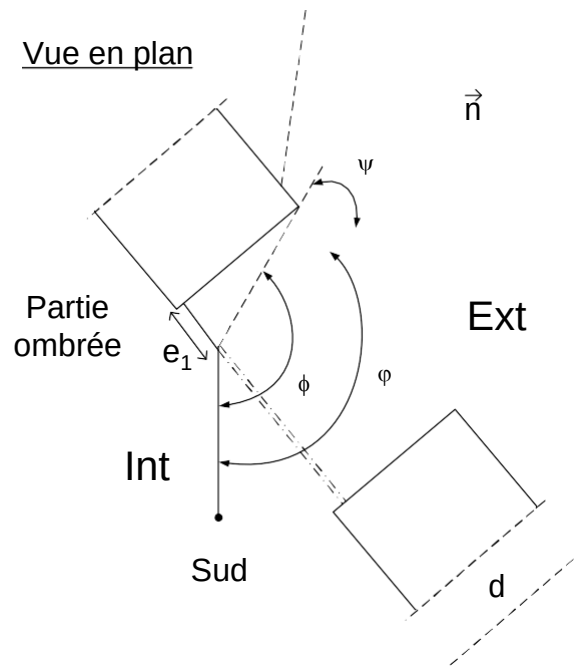
La longueur d'ombre latérale (horizontale)  $e_1$  d'un vitrage du fait d'une saillie verticale est fonction de l'angle  $\Psi = \Phi$  (azimut solaire) -  $\varphi$  (azimut de la paroi) et de la profondeur  $d$  de la partie en saillie (voir figure III.1).

Pour  $-90^\circ < \Psi < 90^\circ$  la façade est ensoleillée, si non la façade est à l'ombre. La longueur d'ombre latérale  $e_1$  est donnée par [4]:

$$e_1 = \operatorname{tg}(\Psi) \cdot d \quad [\text{m}] \quad (3.10)$$

Où :

- $\Psi$  (en degrés) est égal à la différence  $\Phi - \phi$



- $d$  (en m) est la largeur de la saillie verticale

**Figure II.1** : Schéma d'une saillie verticale

## 6.2- Cas d'une saillie horizontale

Si la saillie est horizontale (figure III.2), la longueur d'ombre verticale  $e_2$  est fonction de la profondeur  $c$ , de la partie en saillie, de la hauteur du soleil  $\beta$ , de l'azimut solaire et de l'azimut de la paroi  $\phi$ .

La valeur de  $e_2$  est calculée par la formule suivante (3) :

$$e_2 = (\operatorname{tg}(\beta) / \cos(\Psi)) \cdot c \quad [\text{m}] \quad (3.11)$$

- l'angle  $\Psi$  (en degrés) égal à la différence  $\Phi - \phi$ , où  $\Phi$  est l'azimut solaire et où  $\phi$  est l'azimut de la paroi ;
- $\beta$  (en degrés) est la hauteur du soleil,  $c$  (en m) est la profondeur de la partie en saillie.

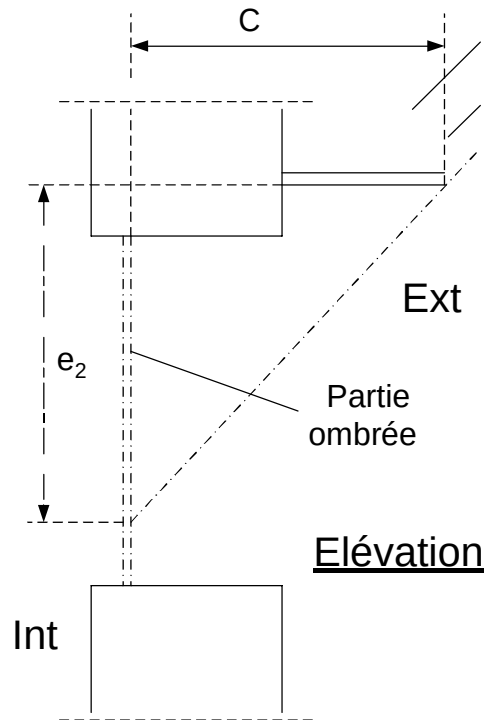


**Figure II.2 :** Schéma d'une saillie horizontale

### 6.3- Etapes de calcul :

1. Déterminer à l'aide des formules données en [3] l'azimut  $\Phi$  et la hauteur  $\Phi$  du soleil pour l'instant considéré ;
2. Déterminer l'azimut  $\varphi$  de la paroi soit à l'aide du tableau donné en [3], soit graphiquement ;
3. Effectuer la différence  $\Psi = \Phi - \varphi$  ;
4. Si  $\Psi$  n'est pas compris dans l'intervalle  $]-90^\circ, 90^\circ [$ , la paroi est à l'ombre ;
5. Calculer les longueurs d'ombres latérales et verticales ;
6. Calculer la surface vitrée ensoleillée  $SV_{ens}$ , cette dernière devient avec les désignations de la figure III.3 : [4]

$$SV_{ens} = [B - (e_1 - b)] \cdot [H - (e_2 - f)] \text{ [m}^2\text{]} \quad (3.12)$$

À condition que :  $e_1 - b \geq 0$  et  $e_2 - f \geq 0$

7. Calculer la surface vitrée à l'ombre  $S_0$ , ce dernier est égal à [4]:

$$S_0 = (B - H) - SV_{ens} \text{ [m}^2\text{]} \quad (3.13)$$

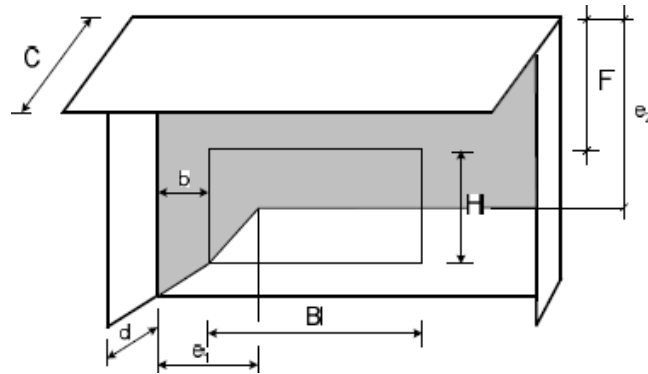


**Figure II.3 :** Surface ombré d'un vitrage

d : valeur du retrait vertical [m]

c : valeur du retrait horizontal [m] H : hauteur du vitrage [m] B : largeur du vitrage [m]

e1 : longueur d'ombre latérale [m]

e2 : longueur d'ombre verticale [m].

## 7 - Apports de chaleur internes :

Les apports de chaleur internes sont les gains internes, les quantités de chaleur dégagées sous forme latente ou sensible à l'intérieur des locaux conditionnés. Ils sont calculés en considérant que ces derniers sont constants pendant la durée de fonctionnement de l'installation de climatisation.

### 7.1 - Gains dus aux occupants :

Les individus qui occupent un local pendant une durée déterminée dégagent de la chaleur et de la vapeur d'eau de leurs organismes. Les quantités de chaleur de ces derniers sont fonction d'une part du degré d'activité et d'autre part de la température ambiante.

Les quantités de chaleur dégagées par les occupants d'un local sont la somme de la chaleur sensible qui est rejetée vers l'ambiance par rayonnement et convection. Elle entraîne directement une augmentation de la température ambiante.

Les gains internes pour un occupant sont donnés dans le tableau III.1 :[4]

**Tableau N° 1 : Gains dus aux occupants**

| Degré d'activité          | Exemple d'application                 | Température sèche du local 21°C                       |
|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                           |                                       | Apports sensibles (Sen.) et latents (Lat.) en W/pers. |
|                           |                                       | Sen.<br>.<br>Lat                                      |
| Assis, travail très léger | Logement, bureau, hôtel, amphithéâtre | 83<br>94                                              |

## 7.2- Gains dus aux machines électriques :

En plus des individus occupant un local, les appareils électriques constituent à la fois une source de chaleur sensible et latente, ou seulement une source de gains sensibles. Les appareils électriques dégagent intégralement l'équivalent calorifique de la puissance électrique moyenne absorbée.

**Tableau N° 2 : Apports calorifiques dû aux appareils ménagers et de restaurants**

| Appareils                                        | Gains à admettre (en W) |      |       |
|--------------------------------------------------|-------------------------|------|-------|
|                                                  | Sens.                   | Lat. | Total |
| <b>Appareils Ménagers</b>                        |                         |      |       |
| Four électrique                                  | 3000                    | 610  | 3610  |
| Four micro-onde                                  | 1400                    | -    | 1400  |
| Cuisinière électrique                            | 3000                    | 1500 | 4500  |
| Plaque chauffante<br>(W <sub>n</sub> = 500 W)    | 500                     | 280  | 780   |
| Plaque chauffante<br>(W <sub>n</sub> = 1000 W)   | 1000                    | 560  | 1560  |
| Télévision                                       | 150                     | -    | 150   |
| Réfrigérateur (100 l)                            | 100                     | --   | 100   |
| Réfrigérateur (200 l)                            | 175                     |      | 175   |
| Machine à laver (3 kg)                           | 3000                    | 1500 | 4500  |
| Machine à laver (5 kg)                           | 6000                    | 3000 | 9000  |
| Télévision                                       | 150                     | -    | 150   |
| <b>Appareils de restaurants</b>                  |                         |      |       |
| Percolateurs avec chauffe-eau                    |                         | 140  | 540   |
| 2 percolateurs, 2 litres d'eau                   | 400                     |      |       |
| 4 percolateurs, 4 litres d'eau                   | 1800                    | 350  | 2150  |
| Table chauffante (par m <sup>2</sup> de surface) | 2200                    | 1110 | 3310  |
| avec chauffe-assiette                            | 1750                    | 1180 | 2930  |
| sans chauffe assiette                            |                         |      |       |
| Grille-pain                                      | 1900                    | 760  | 2510  |
| Gril à viandes (250 à 300 mm)                    | 1750                    | 620  | 2370  |
| Friteuse 5 l d'huile                             | 1200                    | 690  | 1890  |
| 10 l d'huile                                     | 3000                    | 1660 | 4660  |
| Sorbetière Capacité : 50 kg/jour                 | 2730                    |      | 2730  |
| Capacité : 100 kg/jour                           | 1880                    | --   | 1880  |
| Four micro-ondes                                 | 2630                    | -    | 2630  |

### 7.3- Gains dus à l'éclairage

Après avoir déterminé l'apport de chaleur des équipements et des organismes, il faut prendre en considération un troisième paramètre. Celui des appareils d'éclairage constituent une source de chaleur sensible ( $AI, ec = 0$ ).

La chaleur dégagée par l'éclairage se fait par :

- Rayonnement (Absorbée par les parois environnantes) ;
- Convection (Avec l'air ambiant) ;
- Conduction (à travers les parois de la lampe).

Il est important de noter qu'il existe deux types de lampes dans les apports internes dû à l'éclairage :

1. Lampes à incandescence ;
2. Lampes fluorescentes.

$$AI = \sum (Wn \times Cme \times Ccr) \quad (3.14)$$

$Wn$ : est la puissance nominale de l'ampoule ou du tube fluorescent ( $W$ )

$Cme$ : 1.2: pour les lampes à incandescence

$Ccr$  1,25 pour les tubes fluorescents

**Tableau N° 3 : Apports de chaleur dû à l'éclairage**

| Désignation du local<br>ou genre d'activité  | Intensité lumineuse<br>recommandée (lux) | Puissance dégagée des lampes ou des<br>tubes ( $W / m^2$ ) |                         |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------|
|                                              |                                          | Lampes à<br>incandescence                                  | Lampes<br>fluorescentes |
| Entrepôt, pièces<br>d'habitation, théâtre    | 120                                      | 25                                                         | 8                       |
| Bureaux, salle de cours                      | 250                                      | 55                                                         | 16                      |
| Salles de lecture,<br>laboratoires, magasins | 500                                      | 110                                                        | 32                      |

### 8- Apport de chaleur par introduction d'air extérieur

Les apports de chaleur par introduction d'air constituent une source de chaleur latente et sensible. Ils sont le fait des défauts d'étanchéité des ouvrants (portes et fenêtres), de la présence d'orifices ou les bouches de ventilation.

On distingue deux types d'apports de chaleur par introduction d'air ;

- Les apports dû aux infiltrations, qui interviennent dans le bilan du local ; ces apports sont à associer au débit d'infiltration  $V_{inf}$ ;
- Les apports dû à l'introduction d'air neuf dont une partie, du fait du facteur by-pass BF, intervient dans le bilan calorifique du local; on associe à ces apports le débit d'air neuf  $V_{an}$ .

Les gains sensibles dû au renouvellement de l'air  $AREN_s$ , et dû aux infiltrations  $AINF_s$  sont donnés par les formules données ci-après : [2]

$$AREN_s(t) = 0,320 \cdot qv_{an}(T_{se}(t) - TS_{b,i}) \text{ [W]} \quad (3.15)$$

$$AINF_s(t) = 0,320 \cdot qv_{inf}(T_{se}(t) - TS_{b,i}) \text{ [W]} \quad (3.16)$$

- 0.320 : (en  $J/m^3 \cdot ^\circ C$ ) représente le produit de la chaleur spécifique de l'air ( $1004 J/Kg \cdot ^\circ C$ ) par la masse volumique moyenne de l'air ( $1.15 Kg/m^3$ ) et par un facteur de conversion ( $\frac{1}{3600}$ ).
- $V_{an}$  (en  $m^3/h$ ) représente le débit d'air neuf;
- $V_{inf}$  (en  $m^3/h$ ) représente le débit d'air dû aux infiltrations;
- $T_{se}$  (en  $^\circ C$ ) représente la température sèche de l'air extérieur;
- $TS_{b,i}$  (en  $^\circ C$ ) représente la température sèche de base de l'air intérieur;

Les gains latents dû au renouvellement de l'air  $AREN_l$ , et dû aux infiltrations  $AINF_l$  sont donnés par les formules données ci-après (3) :

$$AREN_l = 0,797 qv_{an} M_{ax} \cdot [(HS_{b,e} - HS_{b,i}) ; 0] \text{ [W]} \quad (3.17)$$

$$AINF_1 = 0,797 qv_{inf} M_{ax} \cdot [(HS_{b,e} - HS_{b,i}) ; 0] [W] \quad (3.18)$$

0,797 (en J.kg air/gvap.m3 air) représente le produit de la masse volumique moyenne de l'air (1,15 kg/m3) par la chaleur de vaporisation de l'eau (2498 J/g) et par un facteur de conversion ;

- $qv_{an}$  (en m3/h) ; représente le débit d'air neuf
- $qv_{inf}$  (en m3/h) représente le débit dû aux infiltrations
- $HS_{b,e}$  (en gvap/kgas) représente l'humidité spécifique de base de l'air extérieur ;  
 $HS_{b,i}$  (en gvap/kgas) représente l'humidité spécifique de base de l'air intérieur .

## 9 – Application

Dans notre cas d'étude, nous avons opté pour le calcul des bilans à l'aide de la méthode Excel. Il existe aussi des logiciels permettant de faire les calculs tels que le HAP1, thermExcel2, cypecadmep3.

1. Est un logiciel sous Windows de CARRIER conçu pour le calcul des charges de climatisation et de consommation énergétique des locaux tertiaires
2. C'est un programme de calcul sur Excel permet d'effectuer les calculs de bilans thermiques et de déperditions pour les locaux à climatiser et notamment d'en estimer la puissance frigorifique et thermique nécessaire.
3. Le logiciel constitue une véritable plateforme pour la conception énergétique et les études techniques fluides.

## 9.1- Exemple chambre d'anesthésie :

Exemple de calculer de bilan thermique d'une chambre: (chambre d'anesthésié)

| Salle d'anesthésie Façade Nord                |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Heure solaire                                 | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      | 13      | 14      | 15      | 16      | 17      | 18      |
| $\Delta t_e(t)$ (°C)                          | -5,05   | -4,35   | -4,13   | -2,89   | -1,60   | -0,45   | 0,80    | 2,03    | 2,60    | 3,10    | 3,70    | 3,90    | 3,77    |
| S (m²)                                        | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       |
| Kété                                          | 1,7     | 1,7     | 1,7     | 1,7     | 1,7     | 1,7     | 1,7     | 1,7     | 1,7     | 1,7     | 1,7     | 1,7     | 1,7     |
| APO (w)                                       | -30,92  | -26,62  | -25,28  | -17,67  | -9,82   | -2,75   | 4,92    | 12,41   | 15,91   | 18,97   | 22,64   | 23,86   | 23,10   |
| Salle d'anesthésie Façade Ouest - Façade Nord |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Heure solaire                                 | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      | 13      | 14      | 15      | 16      | 17      | 18      |
| $\Delta t_{inc}(t)$ (°C)                      | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 4,00    | 4,00    |
| S (m²)                                        | 6,66    | 6,66    | 6,66    | 6,66    | 6,66    | 6,66    | 6,66    | 6,66    | 6,66    | 6,66    | 6,66    | 6,66    | 6,66    |
| Kété                                          | 2,14    | 2,14    | 2,14    | 2,14    | 2,14    | 2,14    | 2,14    | 2,14    | 2,14    | 2,14    | 2,14    | 2,14    | 2,14    |
| APO (w)                                       | 57,01   | 57,01   | 57,01   | 57,01   | 57,01   | 57,01   | 57,01   | 57,01   | 57,01   | 57,01   | 57,01   | 57,01   | 57,01   |
| Salle d'anesthésie -plancher                  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Heure solaire                                 | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      | 13      | 14      | 15      | 16      | 17      | 18      |
| tsm-tsib                                      | 5,50    | 5,50    | 5,50    | 5,50    | 5,50    | 5,50    | 5,50    | 5,50    | 5,50    | 5,50    | 5,50    | 5,50    | 5,50    |
| $s$ (m²)                                      | 11,78   | 11,78   | 11,78   | 11,78   | 11,78   | 11,78   | 11,78   | 11,78   | 11,78   | 11,78   | 11,78   | 11,78   | 11,78   |
| kété                                          | 1,31    | 1,31    | 1,31    | 1,31    | 1,31    | 1,31    | 1,31    | 1,31    | 1,31    | 1,31    | 1,31    | 1,31    | 1,31    |
| appo (w)                                      | 84,8749 | 84,8749 | 84,8749 | 84,8749 | 84,8749 | 84,8749 | 84,8749 | 84,8749 | 84,8749 | 84,8749 | 84,8749 | 84,8749 | 84,8749 |

| Salle d'anesthésie -plafond |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Heure solaire               | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         | 11         | 12         | 13         | 14         | 15         | 16         | 17         | 18         |
| tsm-tsib                    | 5,50       | 5,50       | 5,50       | 5,50       | 5,50       | 5,50       | 5,50       | 5,50       | 5,50       | 5,50       | 5,50       | 5,50       | 5,50       |
| $s$ (m²)                    | 9,2709     | 9,2709     | 9,2709     | 9,2709     | 9,2709     | 9,2709     | 9,2709     | 9,2709     | 9,2709     | 9,2709     | 9,2709     | 9,2709     | 9,2709     |
| K été                       | 1,31       | 1,31       | 1,31       | 1,31       | 1,31       | 1,31       | 1,31       | 1,31       | 1,31       | 1,31       | 1,31       | 1,31       | 1,31       |
| appo (w)                    | 66,7968345 | 66,7968345 | 66,7968345 | 66,7968345 | 66,7968345 | 66,7968345 | 66,7968345 | 66,7968345 | 66,7968345 | 66,7968345 | 66,7968345 | 66,7968345 | 66,7968345 |

| Porte                 |              |             |              |              |              |             |              |               |           |            |            |               |              |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|-----------|------------|------------|---------------|--------------|
| Heure solaire         | 6            | 7           | 8            | 9            | 10           | 11          | 12           | 13            | 14        | 15         | 16         | 17            | 18           |
| $\Delta T_{inc}$ (°C) | 1,63         | 2,35        | 2,07         | 2,33         | 3,68         | 3,85        | 4,11         | 4,397         | 5         | 4          | 3          | 3,577         | 2,92         |
| S (m <sup>2</sup> )   | 2,64         | 2,64        | 2,64         | 2,64         | 2,64         | 2,64        | 2,64         | 2,64          | 2,64      | 2,64       | 2,64       | 2,64          | 2,64         |
| K été                 | 5,8          | 5,8         | 5,8          | 5,8          | 5,8          | 5,8         | 5,8          | 5,8           | 5,8       | 5,8        | 5,8        | 5,8           | 5,8          |
| appo (w)              | 24,958<br>56 | 35,98<br>32 | 31,695<br>84 | 35,676<br>96 | 56,348<br>16 | 58,95<br>12 | 62,932<br>32 | 67,3268<br>64 | 76,5<br>6 | 61,2<br>48 | 45,9<br>36 | 54,7710<br>24 | 44,711<br>04 |

| Salle d'anesthésie Façade Est |               |              |               |                 |                |               |               |                    |                |                |                |                |                |
|-------------------------------|---------------|--------------|---------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Heure solaire                 | 6             | 7            | 8             | 9               | 10             | 11            | 12            | 13                 | 14             | 15             | 16             | 17             | 18             |
| $\Delta T_e$ (°C)             | -0,696        | -0,461       | 0,148         | 1,002           | 1,818          | 3,439         | 5,082         | 8,483              | 10,378         | 10,956         | 10,622         | 9,887          | 8,985          |
| S (m <sup>2</sup> )           | 8,22          | 8,22         | 8,22          | 8,22            | 8,22           | 8,22          | 8,22          | 8,22               | 8,22           | 8,22           | 8,22           | 8,22           | 8,22           |
| K été                         | 1,67          | 1,67         | 1,67          | 1,67            | 1,67           | 1,67          | 1,67          | 1,67               | 1,67           | 1,67           | 1,67           | 1,67           | 1,67           |
| appo (w)                      | 11,464<br>209 | 7,595<br>828 | 2,434<br>3256 | 16,512<br>23188 | 29,951<br>3565 | 56,64<br>8404 | 83,7197<br>52 | 139,7<br>3459<br>1 | 170,95<br>1888 | 180,46<br>9552 | 174,97<br>8592 | 162,86<br>8005 | 148,01<br>0657 |

| EST                               | msurf $\geq$ 700<br>[Kg/m <sup>2</sup> ] |         |         | $\phi$  | -90     |         |        |         |         |         |         |         |         |
|-----------------------------------|------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Heure solaire                     | 6                                        | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12     | 13      | 14      | 15      | 16      | 17      | 18      |
| $\Delta T_{e, \text{C}}$ [°C]     | -5,552                                   | -4,850  | -4,130  | -2,887  | -1,604  | -0,450  | 0,804  | 2,027   | 2,600   | 2,600   | 2,600   | 2,198   | 1,574   |
| $\alpha$                          | 0,7                                      | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7    | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     |
| $I_{t,b}$ [W/m <sup>2</sup> ]     | 516                                      | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     | 516    | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     |
| $I_{t,b(40)}$ [W/m <sup>2</sup> ] | 516                                      | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     | 516    | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     |
| $\Delta t_{es}$ (t) [°C]          | 0,5                                      | 0,5     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0,5     | 1,1     | 1,7     | 2,2     |
| $\Delta t_{em(t)}$ [°C]           | 6,1                                      | 5,5     | 5,5     | 5       | 4,4     | 5       | 5,5    | 8,3     | 10      | 10,6    | 10      | 9,4     | 8,9     |
| $\Delta t_e(t)$ [°C]              | -0,696                                   | -0,461  | 0,148   | 1,002   | 1,818   | 3,439   | 5,082  | 8,483   | 10,378  | 10,956  | 10,622  | 9,887   | 8,985   |
| $I_{d,b}$ [W/m <sup>2</sup> ]     | 47,975                                   | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975 | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975  |
| $I_t$ [W/m <sup>2</sup> ]         | 549,87                                   | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87 | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87  |
| $I_d$ [W/m <sup>2</sup> ]         | 51,12                                    | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12  | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12   |
| $\beta$ (deg rés)                 | 11,917                                   | 23,917  | 36      | 47,083  | 59,083  | 69,166  | 73,249 | 69,166  | 59,083  | 47,083  | 36      | 23,917  | 11,917  |
| $\phi$ (deg rés)                  | -106,083                                 | -98,083 | -89,249 | -79,249 | -65,415 | -42,415 | 0      | 42,415  | 65,415  | 79,249  | 89,249  | 98,083  | 106,083 |
| $\psi$ (deg rés)                  | -16,083                                  | -8,083  | 0,751   | 10,751  | 24,585  | 47,585  | 90     | 132,415 | 155,415 | 169,249 | 179,249 | 188,083 | 196,083 |

|                          |        |         |          |        |        |                 |         |        |        |        |          |         |        |
|--------------------------|--------|---------|----------|--------|--------|-----------------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|
| SV(m <sup>2</sup> )      | 1,08   | 1,08    | 1,08     | 1,08   | 1,08   | 1,08            | 1,08    | 1,08   | 1,08   | 1,08   | 1,08     | 1,08    | 1,08   |
| e1(m)                    | 0      | 0       | 0        | 0      | 0      | 0               | 0       | 0      | 0      | 0      | 0        | 0       | 0      |
| e2(m)                    | 1,69   | 6,02    | 17,30    | 0,09   | 1,55   | -0,11           | -3,42   | 0,11   | 1,55   | 0,09   | 17,30    | 6,02    | 1,69   |
| Sombre (m <sup>2</sup> ) | 0,64   | -3,26   | 13,41    | 0,08   | 0,76   | 0,10            | -0,92   | 0,10   | 0,76   | 0,08   | 13,41    | -3,26   | 0,64   |
| Svens (m <sup>2</sup> )  | -0,44  | -4,34   | 14,49    | 1,00   | -0,32  | 0,98            | -2,00   | 0,98   | -0,32  | 1,00   | 14,49    | -4,34   | -0,44  |
| Fs=0,90                  |        |         |          |        |        | Orientation est |         |        |        |        |          |         |        |
| Npvi(t)                  | 0,16   | 0,26    | 0,34     | 0,39   | 0,4    | 0,38            | 0,34    | 0,3    | 0,28   | 0,26   | 0,23     | 0,22    | 0,2    |
| AVE(t)(W)                | -24,01 | -493,28 | -2194,14 | 194,06 | -36,80 | 185,62          | -287,77 | 146,55 | -25,76 | 129,37 | -1484,27 | 417,39  | -30,01 |
| AVT(t)(W)                | 230,62 | 230,62  | 230,62   | 230,62 | 230,62 | 230,62          | 230,62  | 230,62 | 230,62 | 230,62 | 230,62   | 230,62  | 230,62 |
| AV                       | 206,62 | -262,66 | -1963,52 | 424,68 | 193,82 | 416,24          | -57,15  | 377,17 | 204,86 | 359,99 | -1253,65 | -186,77 | 200,61 |

Machine + Occupant + Eclairage + AREN + AINF

|               |         |
|---------------|---------|
| Machine       | 285     |
| Occupant      | 297,00  |
| Eclairage     | 104,16  |
| AREN          | 0       |
| AINF          | 288,10  |
| Total général | 2091,25 |

| Bureau du professeur - Façade Sud 1 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Heure solaire                       | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     |
| Δtinc(t)(°C)                        | 4,63   | 5,35   | 5,07   | 5,33   | 6,68   | 6,85   | 7,11   | 7,397  | 8      | 7      | 6      | 6,557  | 5,92   |
| S (m <sup>2</sup> )                 | 4,95   | 4,95   | 4,95   | 4,95   | 4,95   | 4,95   | 4,95   | 4,95   | 4,95   | 4,95   | 4,95   | 4,95   | 4,95   |
| Kété                                | 3,3    | 2,14   | 2,14   | 2,14   | 2,14   | 2,14   | 2,14   | 2,14   | 2,14   | 2,14   | 2,14   | 2,14   | 2,14   |
| APO(w)                              | 75,63  | 56,67  | 53,71  | 56,46  | 70,76  | 72,56  | 75,32  | 78,36  | 84,74  | 74,15  | 63,56  | 69,46  | 62,71  |
| Bureau du professeur- Façade Sud    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Heure solaire                       | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     |
| Δtinc(t)(°C)                        | 4,63   | 5,35   | 5,07   | 5,33   | 6,68   | 6,85   | 7,11   | 7,397  | 8      | 7      | 6      | 6,557  | 5,92   |
| S (m <sup>2</sup> )                 | 11,004 | 11,004 | 11,004 | 11,004 | 11,004 | 11,004 | 11,004 | 11,004 | 11,004 | 11,004 | 11,004 | 11,004 | 11,004 |
| Kété                                | 1,93   | 1,93   | 1,93   | 1,93   | 1,93   | 1,93   | 1,93   | 1,93   | 1,93   | 1,93   | 1,93   | 1,93   | 1,93   |
| APO(w)                              | 98,33  | 113,62 | 107,68 | 113,20 | 141,87 | 145,48 | 151,00 | 157,10 | 169,90 | 148,66 | 127,43 | 139,26 | 125,73 |

| Bureau du professeur-Façade Nord  |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Heure<br>solair<br>e              | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          | 15          | 16          | 17          | 18          |
| $\Delta T_e$<br>(°C)              | -5,052      | -4,350      | -           | -           | -           | -           | 0,804       | 2,027       | 2,600       | 3,100       | 3,700       | 3,898       | 3,774       |
| S (m <sup>2</sup> )               | 7,497       | 7,497       | 7,497       | 7,497       | 7,497       | 7,497       | 7,497       | 7,497       | 7,497       | 7,497       | 7,497       | 7,497       | 7,497       |
| K été                             | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        |
| APO<br>(w)                        | -60,45      | -52,05      | -           | -           | -           | -6,46       | 9,62        | 24,25       | 31,11       | 37,09       | 44,27       | 46,64       | 45,16       |
| Bureau du professeur Façade Est   |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Heure<br>solair<br>e              | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          | 15          | 16          | 17          | 18          |
| $\Delta t_e(t)$<br>(°C)           | -0,70       | -0,46       | 0,15        | 1,00        | 1,82        | 3,44        | 5,08        | 8,48        | 10,38       | 10,70       | 10,62       | 9,89        | 8,99        |
| S (m <sup>2</sup> )               | 7,497       | 7,17        | 7,17        | 7,17        | 7,17        | 7,17        | 7,17        | 7,17        | 7,17        | 7,17        | 7,17        | 7,17        | 7,17        |
| K été                             | 3,76        | 3,76        | 3,76        | 3,76        | 3,76        | 3,76        | 3,76        | 3,76        | 3,76        | 3,76        | 3,76        | 3,76        | 3,76        |
| APO<br>(w)                        | -22,52      | -14,91      | 4,79        | 32,42       | 58,81       | 111,2<br>6  | 164,4<br>1  | 274,4<br>3  | 335,7<br>4  | 346,0<br>1  | 343,6<br>3  | 319,8<br>5  | 290,6<br>7  |
| Bureau du professeur - Façade Est |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Heure<br>solair<br>e              | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          | 15          | 16          | 17          | 18          |
| $\Delta t_{inc}(t)$<br>(°C)       | 17,63       | 18,35       | 18,07       | 18,33       | 19,68       | 19,85       | 20,11       | 20,39<br>7  | 21          | 20          | 19          | 19,57<br>7  | 18,92       |
| S (m <sup>2</sup> )               | 3,3         | 3,3         | 3,3         | 3,3         | 3,3         | 3,3         | 3,3         | 3,3         | 3,3         | 3,3         | 3,3         | 3,3         | 3,3         |
| K été                             | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        | 1,33        |
| APO<br>(w)                        | 77,38       | 80,54       | 79,31       | 80,45       | 86,38       | 87,12       | 88,26       | 89,52       | 92,17       | 87,78       | 83,39       | 85,92       | 83,04       |
| Bureau du professeure-plancher    |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Heure<br>solair<br>e              | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          | 15          | 16          | 17          | 18          |
| t <sub>sm-tsib</sub>              | 5,50        | 5,50        | 5,50        | 5,50        | 5,50        | 5,50        | 5,50        | 5,50        | 5,50        | 5,50        | 5,50        | 5,50        | 5,50        |
| S<br>(m <sup>2</sup> )            | 18,593<br>9 | 18,593<br>9 | 18,59<br>39 | 18,59<br>39 | 18,59<br>39 | 18,59<br>39 | 18,59<br>39 | 18,59<br>39 | 18,59<br>39 | 18,59<br>39 | 18,59<br>39 | 18,59<br>39 | 18,59<br>39 |
| K été                             | 1,31        | 1,31        | 1,31        | 1,31        | 1,31        | 1,31        | 1,31        | 1,31        | 1,31        | 1,31        | 1,31        | 1,31        | 1,31        |
| appo<br>(w)                       | 133,96<br>9 | 133,96<br>9 | 133,9<br>69 | 133,9<br>69 | 133,9<br>69 | 133,9<br>69 | 133,9<br>69 | 133,9<br>69 | 133,9<br>69 | 133,9<br>69 | 133,9<br>69 | 133,9<br>69 | 133,9<br>69 |
| Porte                             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Heure<br>solair<br>e              | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          | 15          | 16          | 17          | 18          |
| $\Delta T_{inc}$<br>(°C)          | 1,63        | 2,35        | 2,07        | 2,33        | 3,68        | 3,85        | 4,11        | 4,397       | 5           | 4           | 3           | 3,577       | 2,92        |
| s(m <sup>2</sup> )                | 3,696       | 3,696       | 3,696       | 3,696       | 3,696       | 3,696       | 3,696       | 3,696       | 3,696       | 3,696       | 3,696       | 3,696       | 3,696       |
| K été                             | 5,8         | 5,8         | 5,8         | 5,8         | 5,8         | 5,8         | 5,8         | 5,8         | 5,8         | 5,8         | 5,8         | 5,8         | 5,8         |
| appo<br>(w)                       | 34,942      | 50,376<br>5 | 44,37<br>42 | 49,94<br>77 | 78,88<br>74 | 82,53<br>17 | 88,10<br>52 | 94,25<br>76 | 107,1<br>84 | 85,74<br>72 | 64,31<br>04 | 76,67<br>94 | 62,59<br>55 |

| bureau de profseur-FO              |                                     |             |            |            |            |            |            |             |            |            |            |             |             |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Heure<br>solair<br>e               | 6                                   | 7           | 8          | 9          | 10         | 11         | 12         | 13          | 14         | 15         | 16         | 17          | 18          |
| $\Delta T_e$<br>[°C]               | -<br>0,2293                         | 0,0056      | 0,147<br>8 | 1,002<br>4 | 1,818<br>2 | 2,972<br>2 | 4,226<br>7 | 5,916<br>0  | 6,877<br>8 | 6,988<br>9 | 7,122<br>2 | 7,320<br>4  | 7,274<br>0  |
| S (m <sup>2</sup> )                | 13,65                               | 13,65       | 13,65      | 13,65      | 13,65      | 13,65      | 13,65      | 13,65       | 13,65      | 13,65      | 13,65      | 13,65       | 13,65       |
| K été                              | 2,004                               | 2,004       | 2,004      | 2,004      | 2,004      | 2,004      | 2,004      | 2,004       | 2,004      | 2,004      | 2,004      | 2,004       | 2,004       |
| APO<br>(w)                         | -7,53                               | 0,18        | 4,85       | 32,90      | 59,68      | 97,56      | 138,7<br>4 | 194,2<br>0  | 225,7<br>7 | 229,4<br>1 | 233,7<br>9 | 240,3<br>0  | 238,7<br>7  |
| OUES<br>T                          | msurf ≥ 700<br>[Kg/m <sup>2</sup> ] |             |            | φ          | 90         |            |            |             |            |            |            |             |             |
| Heure<br>solair<br>e               | 6                                   | 7           | 8          | 9          | 10         | 11         | 12         | 13          | 14         | 15         | 16         | 17          | 18          |
| $\Delta T_e$<br>[°C]               | -<br>5,5515                         | -4,85       | -4,13      | 2,886<br>5 | -<br>1,604 | -0,45      | 0,804<br>5 | 2,027<br>15 | 2,6        | 2,6        | 2,6        | 2,198<br>15 | 1,574       |
| α                                  | 0,7                                 | 0,7         | 0,7        | 0,7        | 0,7        | 0,7        | 0,7        | 0,7         | 0,7        | 0,7        | 0,7        | 0,7         | 0,7         |
| Itb<br>[W/m <sup>2</sup> ]         | 516                                 | 516         | 516        | 516        | 516        | 516        | 516        | 516         | 516        | 516        | 516        | 516         | 516         |
| Itb(4<br>0)<br>[W/m <sup>2</sup> ] | 516                                 | 516         | 516        | 516        | 516        | 516        | 516        | 516         | 516        | 516        | 516        | 516         | 516         |
| $\Delta t_{es}(t)$<br>[°C]         | 0,5                                 | 0,5         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0           | 0          | 0,5        | 1,1        | 1,7         | 2,2         |
| $\Delta t_{em}(t)$<br>[°C]         | 6,7                                 | 6,1         | 5,5        | 5          | 4,4        | 4,4        | 4,4        | 5           | 5,5        | 5,5        | 5,5        | 6,1         | 6,7         |
| $\Delta t_e(t)$<br>[°C]            | -<br>0,2293                         | 0,0056      | 0,147<br>8 | 1,002<br>4 | 1,818<br>2 | 2,972<br>2 | 4,226<br>7 | 5,916<br>0  | 6,877<br>8 | 6,988<br>9 | 7,122<br>2 | 7,320<br>4  | 7,274<br>0  |
| Id,b<br>[W/m <sup>2</sup> ]        | 47,975                              | 47,975      | 47,97<br>5 | 47,97<br>5 | 47,97<br>5 | 47,97<br>5 | 47,97<br>5 | 47,97<br>5  | 47,97<br>5 | 47,97<br>5 | 47,97<br>5 | 47,97<br>5  | 47,97<br>5  |
| It<br>[W/m <sup>2</sup> ]          | 549,87                              | 549,87      | 549,8<br>7 | 549,8<br>7 | 549,8<br>7 | 549,8<br>7 | 549,8<br>7 | 549,8<br>7  | 549,8<br>7 | 549,8<br>7 | 549,8<br>7 | 549,8<br>7  | 549,8<br>7  |
| Id<br>[W/m <sup>2</sup> ]          | 51,12                               | 51,12       | 51,12      | 51,12      | 51,12      | 51,12      | 51,12      | 51,12       | 51,12      | 51,12      | 51,12      | 51,12       | 51,12       |
| β<br>(degr<br>és)                  | 11,917                              | 23,917      | 36         | 47,08<br>3 | 59,08<br>3 | 69,16<br>6 | 73,24<br>9 | 69,16<br>6  | 59,08<br>3 | 47,08<br>3 | 36         | 23,91<br>7  | 11,91<br>7  |
| φ<br>(degr<br>és)                  | -<br>106,08                         | -<br>98,083 | 89,24<br>9 | 79,24<br>9 | 65,41<br>5 | 42,41<br>5 | 0          | 42,41<br>5  | 65,41<br>5 | 79,24<br>9 | 89,24<br>9 | 98,08<br>3  | 106,0<br>83 |
| ψ<br>(degr<br>és)                  | -<br>196,08                         | -<br>188,08 | 179,2<br>5 | 169,2<br>5 | 155,4<br>2 | 132,4<br>2 | -90        | 47,58<br>5  | 24,58<br>5 | 10,75<br>1 | -<br>0,751 | 8,083       | 16,08<br>3  |
| SV(m <sup>2</sup> )                | 1,785                               | 1,785       | 1,785      | 1,785      | 1,785      | 1,785      | 1,785      | 1,785       | 1,785      | 1,785      | 1,785      | 1,785       | 1,785       |
| e1(m)                              | -0,399                              | -0,399      | 0,399      | 0,399      | 0,399      | 0,399      | 0,399      | 0,399       | 0,399      | 0,399      | 0,399      | 0,399       | 0,399       |
| e2(m)                              | 1,69                                | 6,02        | 17,30      | 0,09       | 1,55       | -0,11      | -3,42      | -0,11       | 1,55       | 0,09       | 17,30      | 6,02        | 1,69        |
| Somb<br>re<br>(m <sup>2</sup> )    | 1,25                                | -3,46       | 15,74      | 0,58       | 1,40       | 0,60       | -0,63      | 0,60        | 1,40       | 0,58       | 15,74      | -3,46       | 1,25        |
| Svens<br>(m <sup>2</sup> )         | -0,54                               | -5,25       | 17,52      | 1,21       | -0,38      | 1,18       | -2,41      | 1,18        | -0,38      | 1,21       | 17,52      | -5,25       | -0,54       |
| AV                                 | 440,43                              | 209,58      | 396,5<br>3 | 521,9<br>4 | 450,6<br>3 | 520,8<br>4 | 359,4<br>0 | 539,2<br>2  | 442,6<br>0 | 627,9<br>9 | ####<br>#  | 494,8<br>9  | 389,4<br>1  |

| Machine + Occupant + Eclairage + AREN + AINF |  |                |  |
|----------------------------------------------|--|----------------|--|
| Machines                                     |  | 1988,4         |  |
| Occupants                                    |  | 66,00          |  |
| Eclairage                                    |  | 106,171        |  |
| AREN                                         |  | 0              |  |
| AINF                                         |  | 2442,46        |  |
| <b>Total général</b>                         |  | <b>7135.81</b> |  |

## 9.2- Le résultat final du bilan thermique :

Les résultats finals du bilan thermique pour chaque chambre :

| Local                   | Puissance (W)    |                 | Locale 1 <sup>er</sup> étage | puissance (w)    |
|-------------------------|------------------|-----------------|------------------------------|------------------|
| Salle d'anesthésie      | 2091.25          |                 | Chef du bloc                 | 3383.35          |
| Surveillant médical     | 22552.85         |                 | espace réduction             | 3581.09          |
| Chambre de réanimation  | 2872.92          |                 | espace détente               | 2439.77          |
| Chambre homme n°1       | 2700.48          |                 | bureau de professeur         | 7135.81          |
| Chambre homme n°2       | 2720.51          |                 | Totale 1 <sup>er</sup> étage | <b>16540.01w</b> |
| Chambre homme n°3       | 2750.51          |                 |                              |                  |
| Bureau n°1              | 5492.04          |                 |                              |                  |
| Bureau n°2              | 5311.97          | <b>45775.43</b> |                              |                  |
| Chambre femme n°1       | 3535.97          |                 |                              |                  |
| Chambre femme n°2       | 3577.18          |                 |                              |                  |
| Salle de soin           | 2904.04          |                 |                              |                  |
| Chambre homme n°4       | 2887.96          |                 |                              |                  |
| Chambre homme n°5       | 2906.48          | <b>32101.28</b> |                              |                  |
| Chambre de réanimations | 3672.22          |                 |                              |                  |
| Salle d'opération n°1   | 9898.88          |                 |                              |                  |
| Salle d'opération n°2   | 9159.54          |                 |                              |                  |
| Salle de stérilisation  | 13042.82         |                 |                              |                  |
| Totale RDC              | <b>77876.71w</b> |                 |                              |                  |

**Totale de la clinique : 94416.76W =94.4167KW**

**10- Apports de référence des parois opaques horizontales :**

La somme des apports calorifiques pour les parois opaques extérieures et les parois vitrées doit vérifier au mois de juillet à 15h TSV, pour une température sèche intérieure 24°C.

$$APO(15h) + AVT(15h) \leq 1,05 \cdot Aréf(15h)[W]. \quad (3.19)$$

Apports de référence des parois opaques horizontales :

$$Aréf, PH = \sum(a \times Sint \times \Delta TSréf, PH) [W]. \quad (3.20)$$

Où :

$a$  (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) est un coefficient lié à la nature de la construction et fonction de la zone.

**Tableau N° 4 :** La valeur du coefficient «  $a$  »

| Valeurs du coefficient $a$ (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) |                     |                                                |
|---------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------|
| Zone Climatique                                         | Logement Individuel | Logement en immeuble collectif; bureau, locaux |
| A                                                       | 1.10                | 1.10                                           |

La valeur du coefficient «  $a$  » est :

- Égale à 1,90  $W/m^2 \cdot ^\circ C$  pour les planchers hauts (plafonds) en contact avec un local non conditionné (quelle que soit la zone climatique) ;
- Égale à 2,70  $W/m^2 \cdot ^\circ C$  pour les planchers bas en contact avec un local non conditionné (quelle que soit la zone climatique) ;
- $Sint$  (en  $m^2$ ) désigne la surface de la paroi horizontale comptée de l'intérieur ;
- $\Delta TSréf, PH$  (en  $^\circ C$ ) est la différence de température de référence pour les parois horizontales
- La valeur du coefficient  $\Delta TSréf, PH$

Tableau N° 5 : Valeurs de  $\Delta TS_{réf, PH}$  pour les parois horizontales:

| alt: Zone Climatique |             | Valeurs de $\Delta TS_{réf, PH}$ (en °C) |                                                                 |
|----------------------|-------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                      |             | Paroi en contact avec l'extérieur        | Paroi en contact avec l'extérieur avec un local non conditionné |
| A                    | alt < 500 m | 13.39                                    | 4                                                               |

$Aréf, ph$  totale est 9275.827W.

Apports de référence des parois opaques verticale:

$$Aréf, PV = \sum(c \times Sint \times \Delta TS_{réf, PV} \quad (W) \quad (3.21)$$

Où :

- $c$  (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) est un coefficient dépendant au type d'usage de la construction (voir le tableau 1.5) ;
- $Sint$  (en  $m^2$ ) désigne la surface de la paroi verticale comptée de l'intérieur ;
- $\Delta TS_{réf, PV}$  (en  $^\circ C$ ) est la différence de température de référence pour la paroi opaque verticale ; les valeurs de  $\Delta TS_{réf, PV}$  sont données dans le tableau en fonction de la latitude et de l'orientation de la paroi.

C: coefficient de correction (selon le cas)

Tableau N° 6 : Valeurs de  $\Delta TS_{réf, PV}$  pour les parois verticales

| alt: Zone Climatique |             | Valeurs de $\Delta TS_{réf, PV}$ (en °C) - Latitude 40°N |      |                                 |
|----------------------|-------------|----------------------------------------------------------|------|---------------------------------|
|                      |             | Paroi en contact avec l'extérieur<br>Orientation         |      | Paroi en contact avec un l.n.c. |
| A                    | alt < 500 m | Est                                                      | Oust | 4                               |
|                      |             | 5.89                                                     | 8.75 |                                 |

| $A_{\text{réf,PV}}$     |       |     |                  |                              |                        |          |
|-------------------------|-------|-----|------------------|------------------------------|------------------------|----------|
|                         | PROIS | C   | $S_{\text{int}}$ | $\Delta t_{\text{s réf,PV}}$ | $A_{\text{réf,pv(w)}}$ |          |
| Chambre<br>d'anesthésie | nord  | 1.2 | 9.66             | 4                            | 46.368                 | 179.6349 |
|                         | est   | 1.2 | 8.222            | 5.89                         | 58.0989                |          |
|                         | sud   | 1.2 | 9                | 4                            | 43.2                   |          |
|                         | ouest | 1.2 | 6.66             | 4                            | 31.968                 |          |
|                         |       |     |                  |                              |                        |          |

$A_{\text{réf,pv}}$  Totale si: 4716.2618 W

Apports de référence des parois vitres:

$$A_{\text{réf,PVI}} = AVE_{\text{réf}} + AVT_{\text{réf}} [W] \quad (3.22)$$

Où :

- $AVE_{\text{réf}}$  (en W) désigne les apports de référence dû à l'ensoleillement,
- $AVT_{\text{réf}}$  (en W) désigne les apports de référence dû au gradient de température.

Les apports de référence dû à l'ensoleillement à travers une paroi vitrée  $AVE_{\text{réf}}$  sont donnés par :

$$AVE_{\text{réf}} = [SV_{\text{ens}} \times It + (SV - SV_{\text{ens}}) \times Id] F_{S_{\text{réf}}} \times AP_{VI,\text{réf}} [W] \quad (3.23)$$

Où :

- $SV$  (en  $m^2$ ) est la surface totale vitrée,
- $SV_{\text{ens}}$  (en  $m^2$ ) est la surface vitrée ensoleillée à 15 h TSV (la détermination des parties ensoleillées),
- $It$  (en  $W/m^2$ ) est le rayonnement total maximal réel pour l'orientation et la latitude considérées),
- $Id$  (en  $W/m^2$ ) est le rayonnement diffus maximal réel
- $F_{S_{\text{réf}}}$  est le facteur solaire de référence ;  $F_{S_{\text{réf}}}$  est égal à :

0,15 pour les locaux à usage d'habitation et d'hébergement,

0,38 pour les locaux à usage de bureaux.

- ***APVI,réf*** est le coefficient d'amortissement relatif aux gains de référence des parois vitrées pour l'orientation considérée ;

Les valeurs de ***APVI,réf*** sont données par le tableau suivant:

**Tableau N°7 :** Les apports de référence dû au gradient de température à travers une paroi vitrée

| Valeurs de <i>NPVI,ré</i>              |      |      |
|----------------------------------------|------|------|
| Types de locaux                        | Est  | Oust |
| logement, locaux à usage d'hébergement | 0.31 | 0.43 |
| Bureaux                                | 0.21 | 0.61 |

***AVTréf*** : sont donnés par :

$$AVTréf = e' \times Souv \times \Delta TSréf, PVI [W] \quad (3.24)$$

Où :

- *e'* (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) est un coefficient relatif à la nature des locaux ; la valeur de *e'* (en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) est prise égale à :
- 4,2 pour les locaux à usage d'habitation et d'hébergement,
- 5,4 pour les locaux à usage de bureaux ;
- *Souv* (en  $m^2$ ) est la surface d'ouverture dans le mur ;

- $\Delta T S_{réf, PVI}$  (en °C) est la différence de température de référence des parois vitrées.

Tableau N°8 : Valeurs de  $\Delta T S_{réf, PVI}$  pour les parois vitrées

| Zone Climatique |             | Valeurs de $\Delta T S_{réf, PVI}$ (en °C) |                                                                                                    |
|-----------------|-------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |             | Paroi en contact avec l'extérieur          | Paroi en contact avec un l.n.c.<br>Paroi en contact avec l'extérieur avec un local non conditionné |
| A               | alt < 500 m | 7                                          | 4                                                                                                  |

Les calculs de  $A_{réf, PVI}$ :

$$AVE_{réf} = (SV_{ens} \times It + (sv - SV_{ens}) \times Id) \times Fsr_{réf} \times Npvi_{réf}$$

$$AVT_{réf} = SV_{omb} \times e \times \Delta T s_{réf, pvi}$$

Exemple : Application numérique sur la chambre d'anesthésie

$$AVE_{réf} = (1.00 \times 549.87 + (1.08 - 1) \times 51.12) \times 0.38 \times 0.31 = 65,25 \text{ w}$$

$$AVT_{réf} = 0.08 \times 5.4 \times 7 = 3,024 \text{ w}$$

|                      | AVE réf (w) | AVT réf (w) | A réf ,pvi (w) |
|----------------------|-------------|-------------|----------------|
| chambre d'anesthésie | 65.2562626  | 3.024       | 68.28          |

$$Aréf, PVI = 4081.3534 \text{ W}$$

$$A_{réf totale} = A_{réf, ph} + A_{réf, pv} + Aréf, pvi \quad (3.25)$$

$$A_{réf totale} = 9275.8278 + 4716.2618 + 4081.3534 = 18977.115 \text{ W.}$$

$$1.05 Aréf \quad 18073.44 * 1.05 = 18977.115 \text{ W.}$$

*Totale de chambre de malade  $APO(15h) + AV(15h)$*

*si: 14043.65 W.*

*Totale de bloc opératoire  $APO(15h) + AV(15h)$*

*si: 909.14W .*

*Totale de 1er étage  $APO(15h) + AV(15h)$*

*si: 3953.75 W.*

*Totale de la clinique  $APO(15h) + AV(15h)$*

*si: 18906.54w.*

$$APO(15h) + AV(15) = 14043.65 + 909.14 + 3953.75 = 18906.54w.$$

$$Remarque : APO(15h) + AV(15) = 1.05Aréf(15h).$$

On conclusion :

**Ayant utilisé le Document Technique Réglementaire (DTR), nous avons pu constater après les calculs un confort thermique optimal pour la clinique étudiée.**

# **Chapitre IV**

## **Distribution du système VRV**

## 1 – Introduction :

Une installation de climatisation de système VRV nécessite moins de travaux lourds d'une climatisation gagnable, des aménagements sont à prévoir pour faire passer les tubes frigorifiques en cuivre. L'unité extérieures (groupe de condensations) doit être installé à l'extérieur généralement sur les terrasses accessibles pour les travaux maintenance.

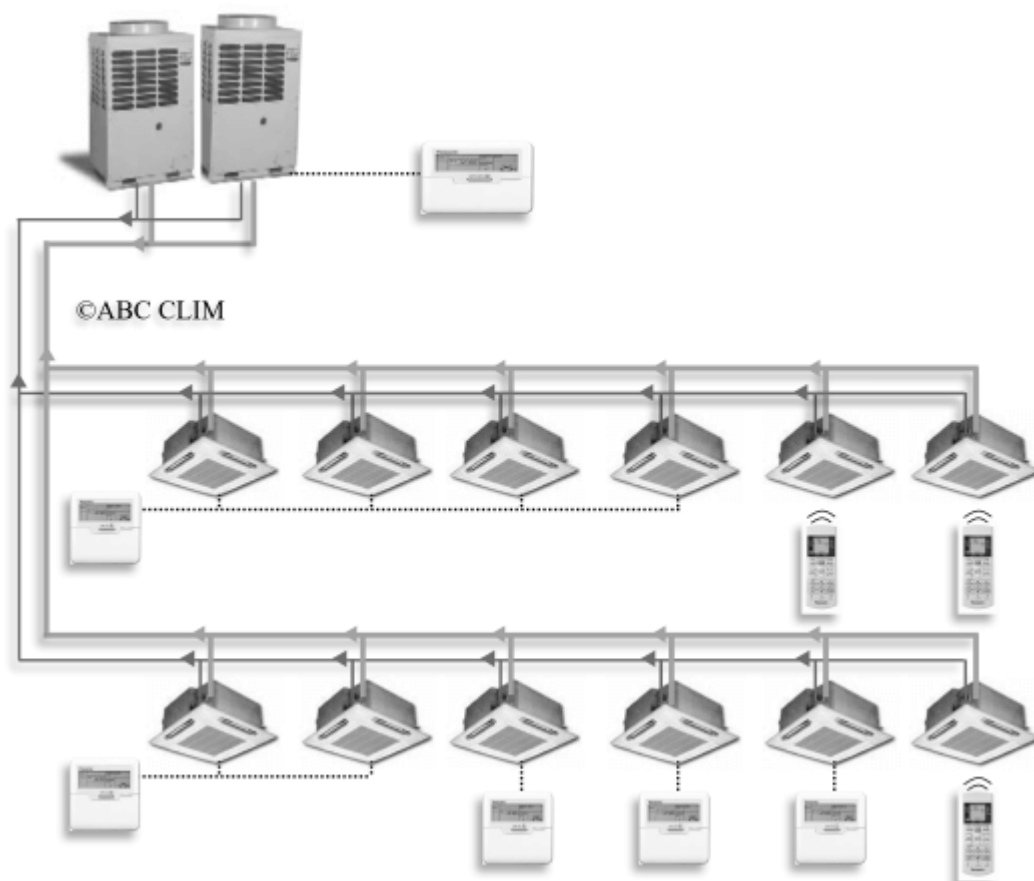


**Figure IV :** Système de climatisation multizones à détente directe (VRV)

## 2- Solution sélectionnée 1 :

### 2-1- Groupe Extérieur :

| Modèle      | Type d'équipement      | Nombre | Poids [kg] |
|-------------|------------------------|--------|------------|
| ARUN260LTE5 | MULTI V 5 HEAT<br>PUMP | 1      | 16,00      |

**2-2-Unité Intérieure :**

| <b>Modèle</b> | <b>Type d'équipement</b> | <b>Quantité</b> | <b>Description</b>   |
|---------------|--------------------------|-----------------|----------------------|
| ARNU09GTRB4   | 4 Way Cassette           | 5               | 2800(W) /<br>3200(W) |
| ARNU09GTRB4   | 4 Way Cassette           | 9               | 3600(W) /<br>4000(W) |
| ARNU09GTQB4   | 4 Way Cassette           | 1               | 4500(W) /<br>5000(W) |
| ARNU18GTQB4   | 4 Way Cassette           | 2               | 5600(W) /<br>6300(W) |
| ARNU28GTPC2   | 4 Way Cassette           | 1               | 8200(W) /<br>9200(W) |

**2-3-Tuyauterie :**

| <b>Ø Liquide [mm (inch)]</b> | <b>Longueur [m]</b> | <b>Ø Gaz [mm (inch)]</b> | <b>Longueur [m]</b> |
|------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| 6,35(1/4)                    | 59,4                | 12,7(1/2)                | 59,4                |
| 9,52(3/8)                    | 32,2                | 15,88(5/8)               | 15,2                |
| 12,7(1/2)                    | 7,8                 | 19,05(3/4)               | 11,8                |
| 15,88(5/8)                   | 5,1                 | 22,2(7/8)                | 5,2                 |
| 19,05(3/4)                   | 3,7                 | 28,58(1+1/8)             | 12,9                |
|                              |                     | 34,9(1+3/8)              | 3,7                 |

**2-4- Raccord/ Collecteur :**

| Modèle     | Nombre de voies | Quantité |
|------------|-----------------|----------|
| ARBLN07121 | 2               | 6        |
| ARBLN03321 | 2               | 5        |
| ARBLN01621 | 2               | 6        |

**2-5-Accessoires :**

| Modèle | Description                                 | Quantité |
|--------|---------------------------------------------|----------|
| PT-UMC | Panel (4 Way Cassette - TN, TM, TP Chassis) | 1        |
| PT-UQC | Panel (4 Way Cassette TR, TQ)               | 17       |

**3- Solution sélectionnée 2:**
**3-1- Groupe Extérieur :**

| Nb groupe. | Modèle                  | Poids [kg]      | Nombre Unité Intérieure  | Taux de combinaison [%]  | Charge réfrigérant additionnelle [kg] |
|------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| OAC-       | ARUN260LTE5             | 283x1           | 18                       | 96,57                    | 11,0                                  |
| Groupe     | Alimentation [Ø/ V/ Hz] | Disjoncteur [A] | COP Nominal/ COP Corrigé | EER Nominal/ EER Corrigé | Pression Sonore [dB]                  |
| OAC-       | 3/380-415/50,3/380/60   | 54,5            | 3,81/2,98                | 3,75/3,88                | 65                                    |

**3-2- Unité Intérieure :**

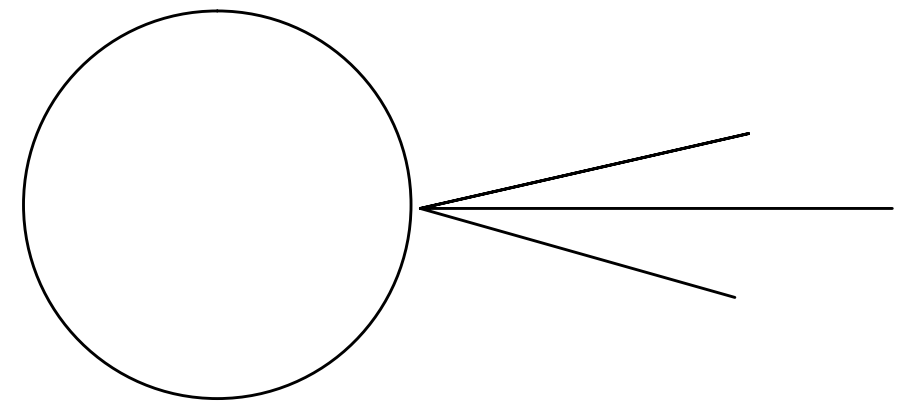
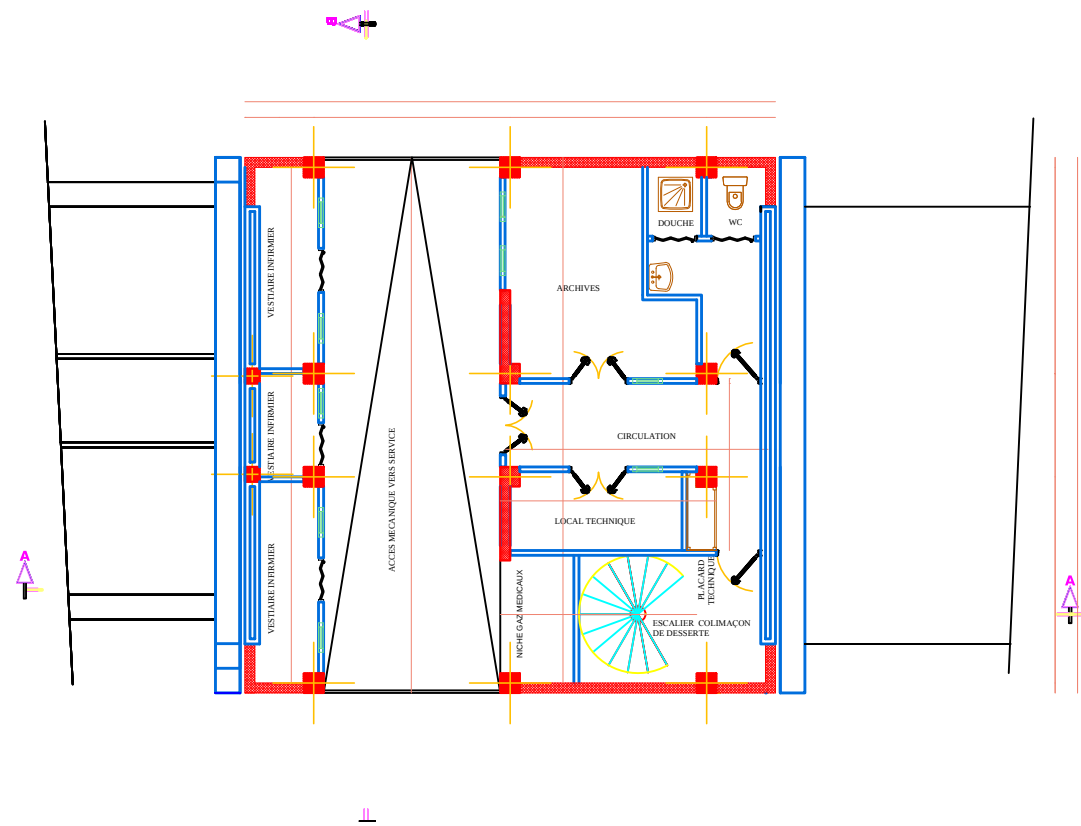
| Pièce           | Nb UI    | Modèle      | Débit d'air [m3/h] | Dimensions [mm] | Alimentation [Ø/ V/ Hz] |
|-----------------|----------|-------------|--------------------|-----------------|-------------------------|
| Chambre femme 2 | [i1]IAC- | ARNU12GTRB4 | 8,7/8,0/7,0        | 570x214x570     | 1/220-240/50,1/220/60   |
| Chambre femme 1 | [i2]IAC- | ARNU12GTRB4 | 8,7/8,0/7,0        | 570x214x570     | 1/220-240/50,1/220/60   |

|                        |            |             |             |             |                       |
|------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Bureau 2               | [i3]IAC-   | ARNU18GTQB4 | 11,2/11/10  | 570x256x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Salle de soin          | [i4]IAC-   | ARNU12GTRB4 | 8,7/8,0/7,0 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Bureau 1               | [i5]IAC-   | ARNU18GTQB4 | 11,2/11/10  | 570x256x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Chambre homme 4        | [i6]IAC-   | ARNU12GTRB4 | 8,7/8,0/7,0 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Chambre homme 3        | [i7]IAC-   | ARNU09GTRB4 | 8,0/7,5/7,1 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Chambre homme 2        | [i8]IAC-   | ARNU09GTRB4 | 8,0/7,5/7,1 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Chambre homme 5        | [i9]IAC-   | ARNU12GTRB4 | 8,7/8,0/7,0 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Chambre homme 1        | [i10]IAC-  | ARNU12GTRB4 | 8,7/8,0/7,0 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Chambre reanimation    | [i11]IAC   | ARNU12GTRB4 | 8,7/8,0/7,0 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Surveillent medical    | '[i12]IAC- | ARNU09GTRB4 | 8,0/7,5/7,1 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Chambre de réanimation | '[i13]IAC- | ARNU15GTQB4 | 11/10/9,3   | 570x256x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Salle d'anesthésie     | '[i14]IAC- | ARNU09GTRB4 | 8,0/7,5/7,1 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| chef de boc            | '[i15]IAC- | ARNU12GTRB4 | 8,7/8,0/7,0 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| bureau professeur      | '[i16]IAC- | ARNU28GTPC2 | 19/16/14    | 840x204x840 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Espace rééducation     | '[i17]IAC- | ARNU12GTRB4 | 8,7/8,0/7,0 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |
| Espace détente         | '[i18]IAC- | ARNU09GTRB4 | 8,0/7,5/7,1 | 570x214x570 | 1/220-240/50,1/220/60 |

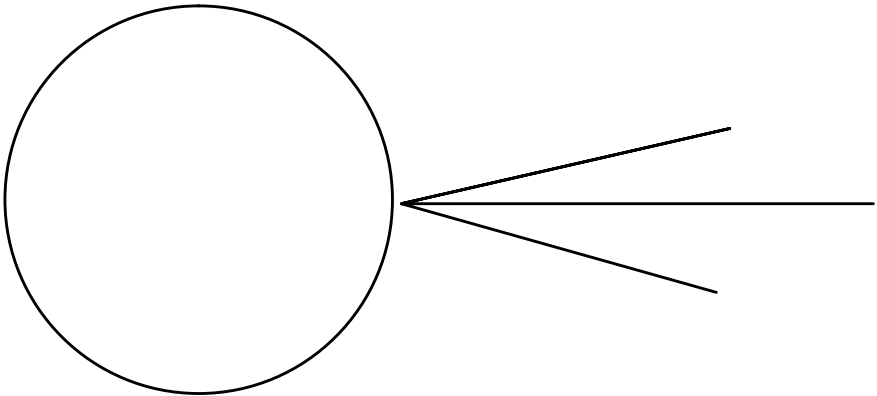
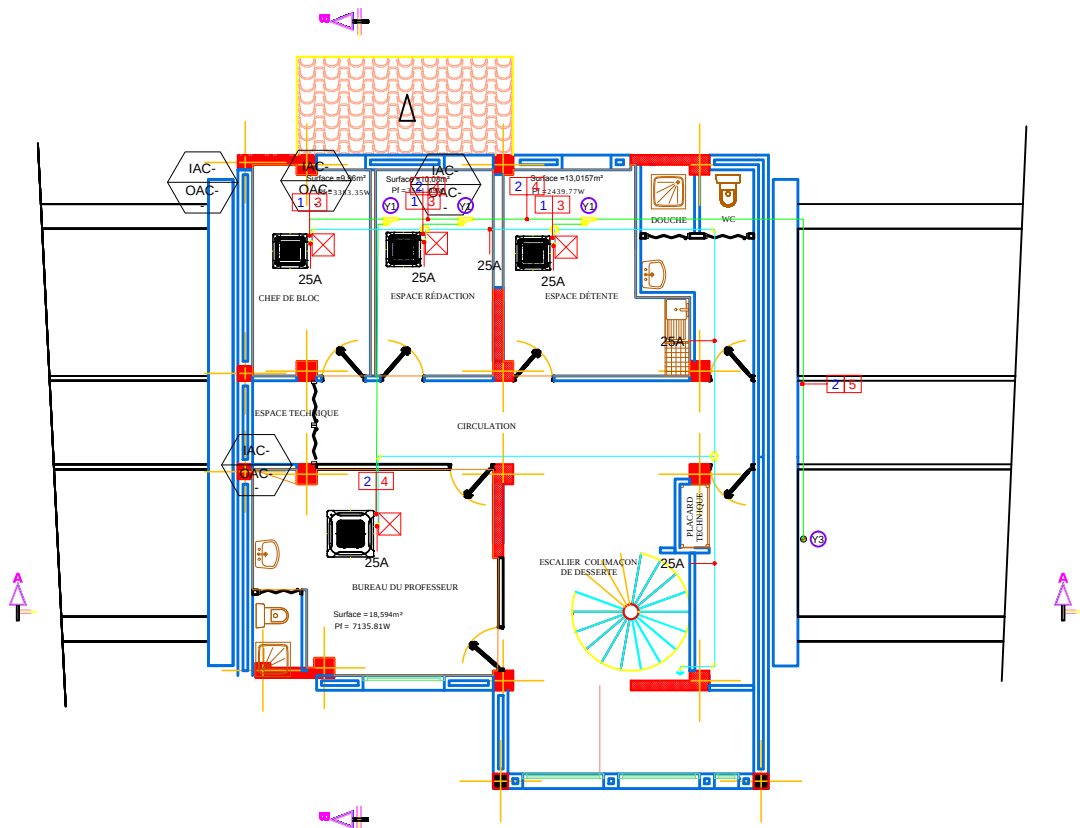
### 3-3- Tuyauterie:

| Items                    | Valeur Limite | Niveau Actuel |
|--------------------------|---------------|---------------|
| Longueur totale du tuyau | 1000 m        | 108,2 m       |

|                                                                 |       |                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Longueur de tuyau équivalente la plus élevée                    | 175 m | 47,4 m :<br><a href="#">ARNU12GTRB4[i2]</a>                                      |
| Longueur de tuyau la plus élevée après le premier embranchement | 40 m  | 34,5 m :<br><a href="#">ARNU12GTRB4[i2]</a>                                      |
| Différence de hauteur (au-dessus de l'unité extérieure)         | 110 m |                                                                                  |
| Différence de hauteur (en dessous de l'unité extérieure)        | 110 m | 4,3 m :<br><a href="#">ARNU09GTRB4[i14]</a>                                      |
| Différence de hauteur (entre les unités intérieures)            | 40 m  | 3,5 m :<br><a href="#">ARNU12GTRB4[i15]</a> -<br><a href="#">ARNU12GTRB4[i1]</a> |
| Longueur de tuyau réelle la plus élevée                         | 150 m | 38,2 m :<br><a href="#">ARNU12GTRB4[i2]</a>                                      |

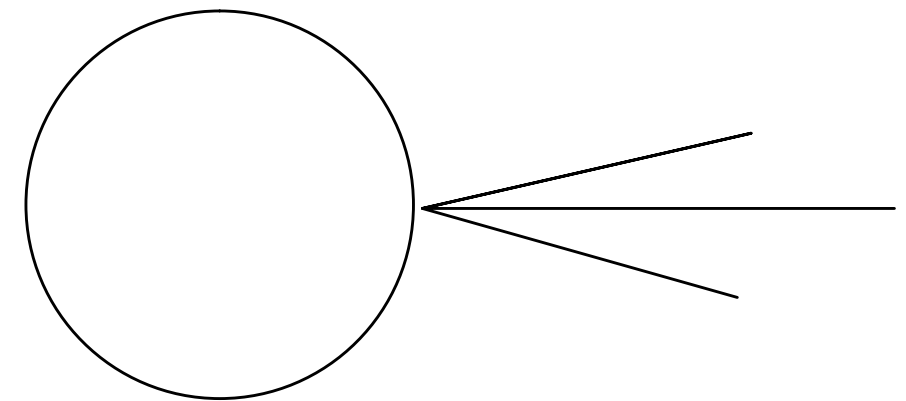
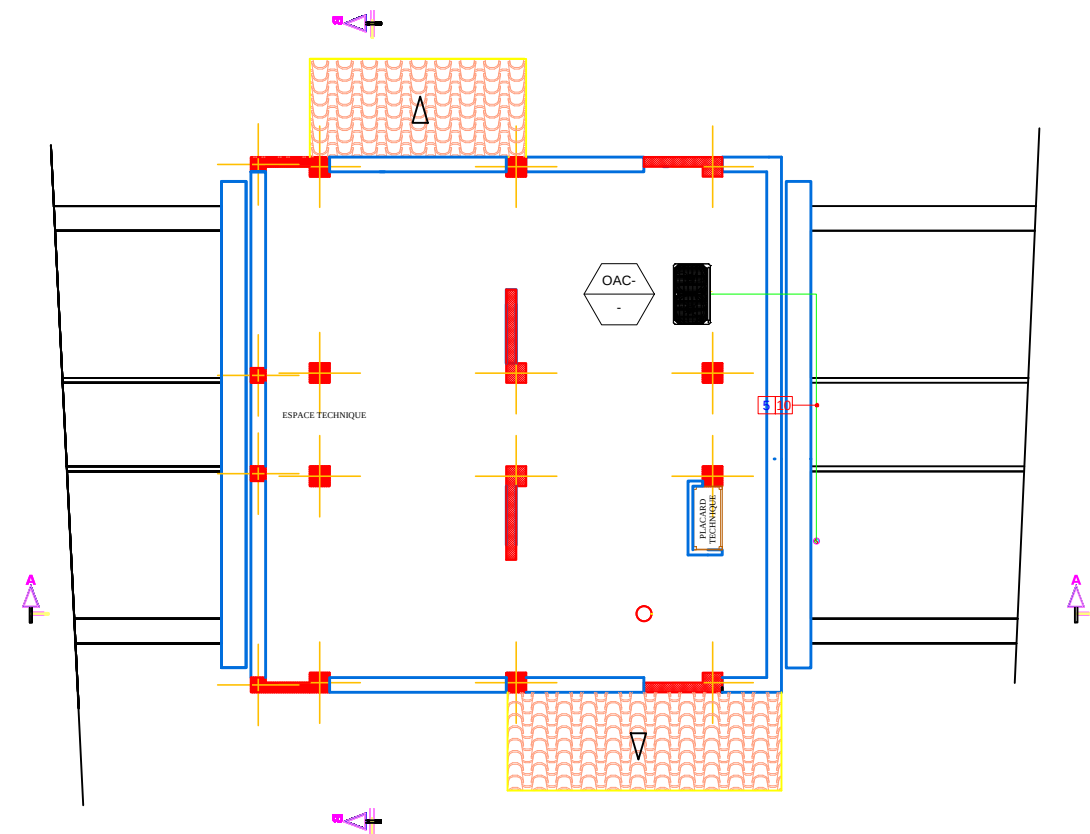


## PLAN DU Sous-sol DU BLOC OPERATOIRE



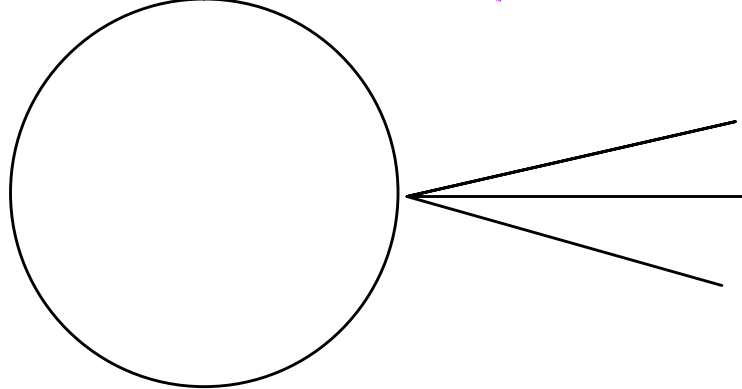
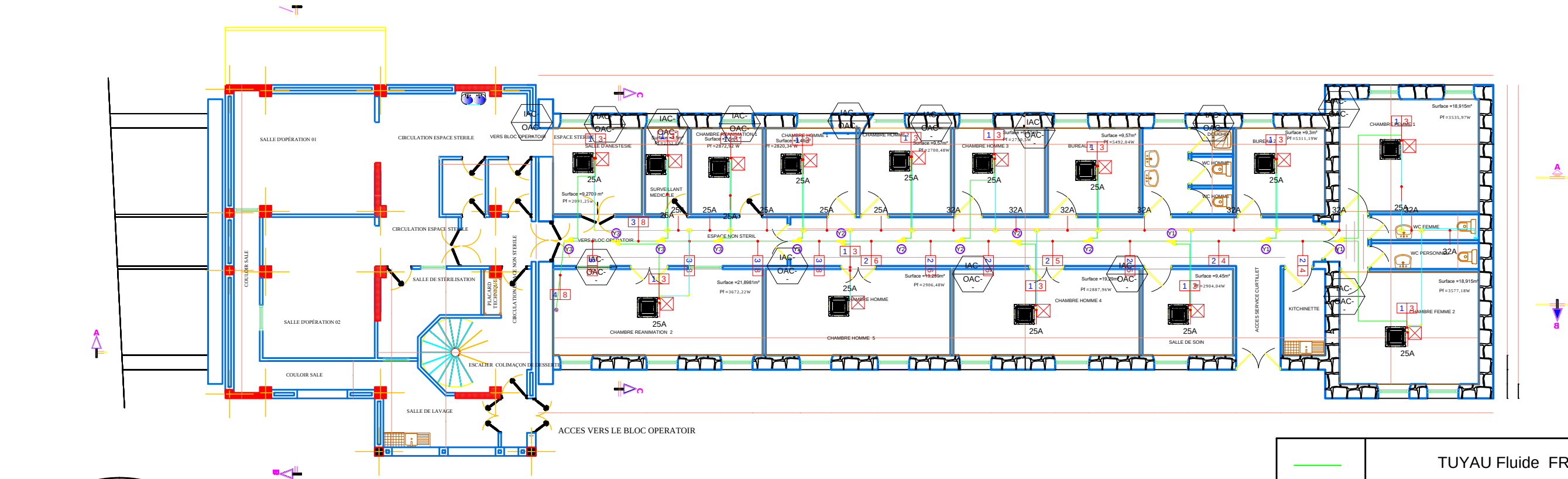
PLAN DU 1ER ETAGE DU BLOC OPERATOIRE

|  |                                             |
|--|---------------------------------------------|
|  | TUYAU Fluide FRIGORIGENE                    |
|  | TUYAU DES CONDENSATS                        |
|  | Trou de monte                               |
|  | Tuyau a raccordement en Y Separateur 2 voix |
|  | CONNECTEUR EN T DES CONDENSATS              |
|  | Sortie des condensats                       |



|                                                                                       |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|  | TUYAU Fluide FRIGORIGENE |
|  | Trou de monte            |

## PLAN DE TERRASSE DU BLOC OPERATOIRE



PLAN DU BLOC OPERATOIRE  
ET Chambres Malades

|  |                                             |
|--|---------------------------------------------|
|  | TUYAU Fluide FRIGORIGENE                    |
|  | TUYAU DES CONDENSATS                        |
|  | Trou de monte                               |
|  | Tuyau a raccordement en Y Separateur 2 voix |
|  | CONNECTEUR EN T DES CONDENSATS              |
|  | Sortie des condensats                       |

# **Chapitre**

## **Traitement et distribution de l'air**

## 1- Traitement de l'air

### 1.1- Introduction :

Un traitement de l'air consiste à modifier les caractéristiques de l'air physique (enthalpie spécifique et teneur en eau) en lui échange de la chaleur et l'humidité.

Le calcul bilan estival ont pour but déterminer la puissance de l'installation pour le refroidissement, ceci peut bien nous conduire à choisir l'équipement adéquat au traitement.

### 1.2- Débit de massique de l'air :

C'est la seule grandeur qui reste constante quel que soit le traitement d'air étudié, la quantité de l'air sec qu'il contient reste constant, on aura dans ce cas:

$$q_{mas1} = q_{mas2} = q_{mas} [Kg/s] \quad (8.1)$$

$q_{mas1}$  : débit massique de l'air en  $(Kg_{as}/s)$

### 1.3- Débit d'humidité :

La quantité de vapeur d'eau continue dans l'air humide est ramenée à 1 ***Kgas***, il s'exprime par la teneur en eau ou humidité absolue «*X*» [***Kge /Kgas***]

Le débit d'humidité est le produit de la variation de la teneur en eau par débit massique de l'air sec

$$q_{me} = q_{mas} \times (x_2 - x_1). [Kg/s] \quad (8.2)$$

Avec :

***q<sub>me</sub>*** : débit d'humidité [***Kg/s***]

***q<sub>mas</sub>*** : débit massique de l'air sec [***Kg/s***]

***(x<sub>2</sub> - x<sub>1</sub>)*** : différence de teneur en eau [***Kge /Kgas***]

Si:

***x<sub>2</sub> > x<sub>1</sub>*** : l'air a reçu de l'humidité (***q<sub>me</sub> > 0***)

$x_2 = x_1$  : pas de variation, pas d'échange d'humidité ( $q_{me} = 0$ ).

#### 1.4- Puissance reçue ou cédée par l'air :

La chaleur contenue dans l'air est aussi ramenée à  $1\text{kg}_{\text{as}}$  et s'exprime par l'enthalpie spécifique  $[KJ/Kg_{\text{as}}]$

La puissance totale sur l'air est produit de la variation enthalpie par le débit d'air sec:

$$h = q_{\text{mas}} \times (h_2 - h_1). [KJ/Kg_{\text{as}}] \quad (8.3)$$

Si :

$h_2 > h_1$  : l'air a reçu de la chaleur ( $H > 0$ ).

$h_2 < h_1$ : l'air a cédé de la chaleur ( $H < 0$ ).

$h_2 = h_1$ : pas d'échange de chaleur , traitement adiabatique  $H = 0$ .

#### 1.5- Traitement d'air en régime estival :

Caractéristiques de l'air:

Tableau N° 1 : Caractéristiques de l'air.

| Air intérieure                                                                       | Air extérieure                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Température $t_i = 25^\circ\text{C}$                                                 | Température $t_i = 34^\circ\text{C}$                                                 |
| Humidité relative $H_{ri} = 60\%$                                                    | Humidité relative $H_{ri} = 45\%$                                                    |
| Enthalpie spécifique $h_i$<br><br>$= 54.5\text{KJ}/\text{Kg}_{\text{as}}$            | Enthalpie spécifique $h_i$<br><br>$= 74.5\text{KJ}/\text{Kg}_{\text{as}}$            |
| Volume spécifique $v$<br><br>$= 0.863\text{m}^3_{\text{as}} / \text{Kg}_{\text{as}}$ | Volume spécifique $v$<br><br>$= 0.883\text{m}^3_{\text{as}} / \text{Kg}_{\text{as}}$ |

**1.6- Détermination de la température au point de soufflage:**

Etant donné que le refroidissement de l'étage bloc opératoire fera par installation semi centralisé, un débit d'air neuf, on place un module de traitement de l'air (c'est un central traitement de l'air CTA). Ce module est équipé d'une batterie froide et électrique fonctionnant au fluide frigorigène (détente directe), qui est équipée de filtres, humidificateur et un ventilateur.

Le rôle du module de traitement est uniquement d'apport de l'air neuf ayant les conditions de confort intérieur exigées qui sont :

- La température
- La pureté
- L'humidité relative

Ce qui nous donne une température de soufflage égale à la température 15°C.

**1.6.1- Majoration du bilan thermique estival:**

La majoration du bilan thermique estival a pour but d'inclure les apports de chaleur dû aux différents composants tels que: gaines, tuyauteries, ventilateurs .....

$$t_i = 25^{\circ}\text{C}.$$

Le pourcentage de majoration à prendre en compte est de: 10%. (1)

**1.6.2- Apports dus fuites des gaines de soufflage:**

Les fuites travers les gaines de soufflage à l'intérieur des locaux à desservir se traduisent par une diminution de la puissance disponible qui peut être importante, elle est compensée par une majoration équivalente des gaines sensibles et latentes des locaux traités, les fuites représentent environ 10% du débit de l'air traité.

Apports dû aux ventilateurs de soufflage:

Les ventilateurs de soufflage interviennent source de chaleur sensible, c'est environ de 3.5%. Sommes des majorations des apports sensibles si: 23.5 %.

**1.6.3- Apport sensible majoré :** la majoration des apports sensibles si 10%

$$QSm = QS \times (1 + 0.1) \quad (8.4)$$

$$AN: (3917.14 + 3917.14 + 5050.66) \times 1.1 = 10301.16W.$$

*Apports latente majoré: la majoration des apports latents si à 10%.*

$$AN: (5978.74 + 5662.80 + 7992.20) = 19633.74W.$$

Calculer le débit volumique d'air souffler:  $TS = 15^\circ C$ .

$$\Delta T = TI - TS = 10^\circ C. \quad (8.5)$$

$$TS = 25 - 10 = 15^\circ C.$$

Charge calorifique totale de bloc opératoire c'est:  $32.101kW$

$$QS = mas \cdot cp \cdot \Delta \theta S \quad (8.6)$$

$$mas = 3.91 / (1.004 \times 10) = 0.3894 kJ/kg^\circ C.$$

$$qas = 0395 / 0.83 \times 3600 = 3546.2514 m^3/h$$

Calculer le débit massique d'air souffler:

|                  |                  |
|------------------|------------------|
| Volume habitable | $V = 105.66 m^3$ |
|------------------|------------------|

Le taux de brassage recommandé pour cette salle est de 50 vol/h.

$$qvas = \tau \times v \left[ \frac{m^3}{h} \right] \quad (8.7)$$

$$qvas = 50 \times 107.94 = 5397 m^3/h$$

$$qmas = \frac{qvas}{3600 \times v} \quad (8.8)$$

Avec:

***qmas***: Débit massique de l'air soufflé [ $kgas/S$ ].

***qvas***: Débit volumique de l'air soufflé [ $m^3/h$ ].

***V*** : volume spécifique [ $m^3/kgas$ ].

AN:

$$q_{mas} = 5397 / (3600 \times 0.825) = 1.24 \text{ kg/s} = 1.24 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_{mas} = 1.24 \times 3600 = 4464 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$h_s = h_i - Q_s / q_{mas} \quad (8.9)$$

$$\text{AN: } 54.5 - 32.101 / 1.24 = 26.99 \text{ kJ/kgas.}$$

$$h_s = 26.99 \text{ kJ/kgas.}$$

#### 1.6.4- Les caractéristiques de point de soufflage :

$$\text{Température } t_s = 15^\circ\text{C}$$

$$\text{Enthalpie spécifique } h_s = 42.5 \text{ KJ/Kgas}$$

$$\text{Volume spécifique } v_s = 0.825 \text{ m}^3/\text{kgas}$$

$$\text{Masse volumique: } 0.3894 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{Débit massique: } 1.24 \text{ kg/s.}$$

$$1.2 \times 3600 = 4464 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 1.7 - Détermination de la puissance de la batterie froide:

L'air subira un traitement dans le caisson du module de traitement de l'air, de l'état initial «E» (l'air extérieur) jusqu'à l'état final «I» (air intérieur). Et la puissance de la batterie froide est donnée par la formule suivante:

$$PBF = q_{mas} \times (h_e - h_i) \text{ (KW)} \quad (8.10)$$

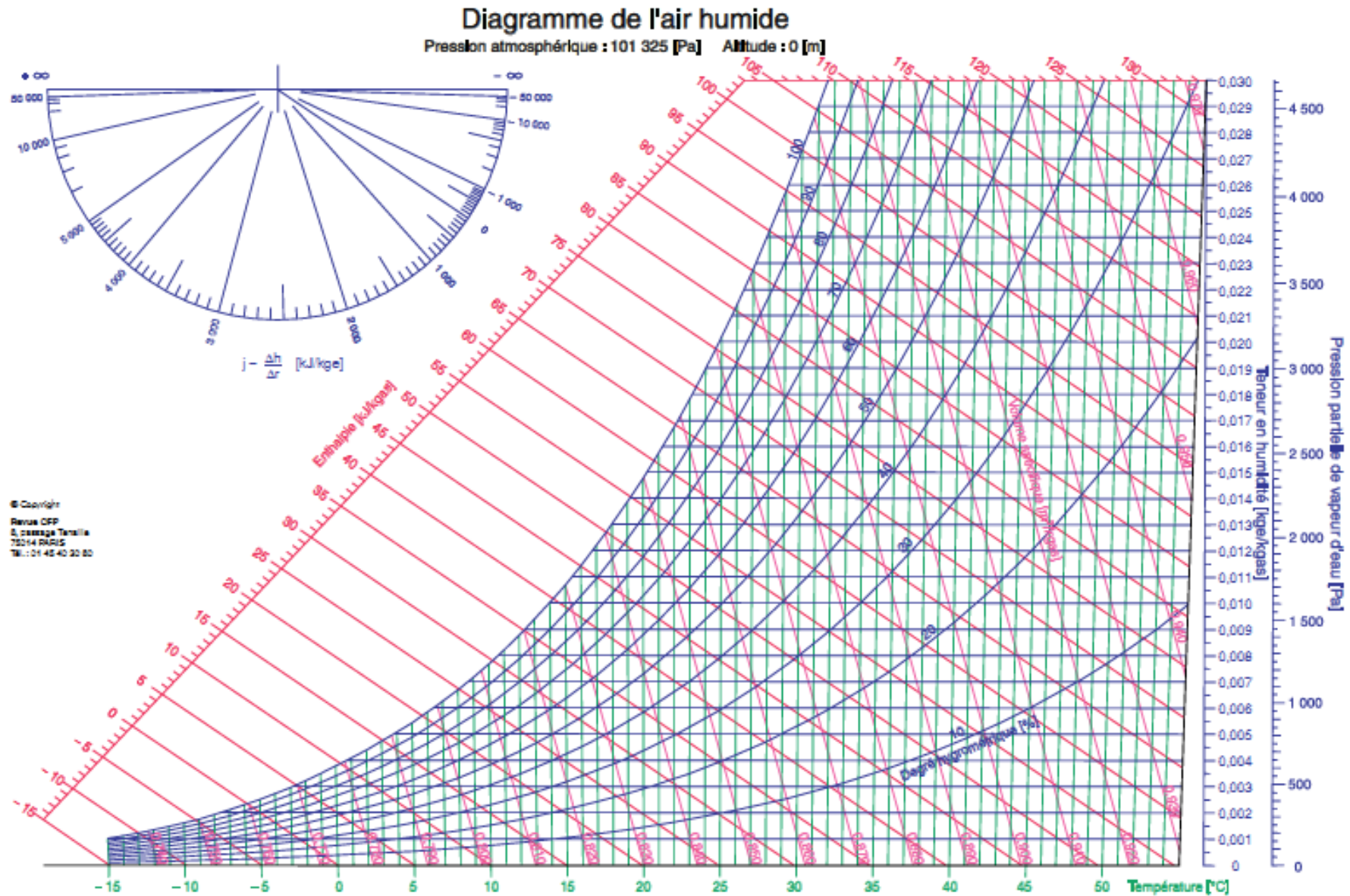
$PBF$ : puissance de la batterie.

$q_{ma}$ : débit massique de l'air souffler.

$h_i$ : Enthalpie spécifique intérieure.

$h_e$ : Enthalpie spécifique extérieure.

$$\text{AN: } 1.24 \times (74.5 - 54.5) = 24.73 \text{ kw.}$$



## 2- La distribution de l'air :

### 2.1- Introduction:

La distribution de l'air consiste à fournir de l'air neuf nécessaire aux blocs opératoires selon le besoin de chaque salle. Pour ce faire installer un réseau aéraulique afin de véhiculer l'air depuis la centrale jusqu'aux salles conditionner.

Le réseau aéraulique sera installé d'une façon à assure une bonne distribution de l'air en respectant les étapes suivantes:

- Réduire la longueur du réseau minimum.
- Eviter l'excès de déviation et des coudes.
- Le réseau ne doit pas être encombrant.
- Calculer la perte de charge totale.

### 2.2- Dimensionnement des gaines :

Le Dimensionnement gaines, on utilise la méthode de l'égalité de pertes de charge. On prenant le point de soufflage le plus éloigné de la centrale de traitement d'air (le cas le plus défavorable). Et lui attribuer une vitesse inférieure 3m/s; et on calcul les pertes de charge linéaires et singulières en fonction de la vitesse attribue et de débit fournir. On augmente la section quand la vitesse de circulation d'air dans un réseau de gaine devient trop importante. Enfin on calcul la section de la gaine.

Une fois calculé, on choisit une section normalisée (standard) et en corrige et on corrige à partir de celle-ci la vitesse dans les tronçons considérés.

La formule pour calculer la section du tronçon est la suivante:

$$S = qv / v \times 3600 [m^3/h] \quad (8.11)$$

$$S = \frac{qv}{v \times 3600} [m^2]. \quad (8.12)$$

$qv$ : débit volumique de l'air [ $m^3/h$ ].

$S$ : section du tronçon [ $m^2$ ].

$V$ : vitesse de l'air dans le tronçon [ $m/s$ ].

**2.3- Calculer des pertes de charges:**

Après avoir déterminé les différentes sections du réseau aéraulique, on passe au calcul des pertes de charge. Dans ce dernier ces calculs ont pour but de choisir adéquatement la puissance du ventilateur qui peut vaincre ces pertes, qui se divisent en deux catégories:

**2.3.1- Pertes de charge singulières «  $\Delta P_s$  »:**

Elles se produisent localement à l'occasion d'une singularité dans le parcours de l'air à l'intérieur de conduit. Elles concernent les tronçon conique (élargissement ou rétrécissement de section de la section), les coudes et les branchements.

Les pertes de charge singulière se calculent à partir de la formuler :

$$\Delta p = \zeta \times P_d \text{ [Pa]} \quad (8.13)$$

- $\Delta P$  perte de charge singulière
- $\zeta$  : coefficient de perte de charge spécifique d'une singularité.
- $P_d$  : pression dynamique [Pa].

$$P_d = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad [\text{Kg/m}^2.\text{s}] \quad (8.14)$$

- $\rho$  : masse volumique du fluide [ $\text{kg/m}^3$ ].
- $V$  : vitesse [ $\text{m/s}$ ].

Types des gaines utilisées dans la climatisation, pour les conduits non circulaires, un diamètre équivalent est calculé.

**2.3.2- Pertes de charge linéaires «  $\Delta P_L$  »:**

Elles produisent dans les tronçons de longueur droite dont le diamètre (ou la section) est constant. Elles sont dues au frottement de l'air sur les parois intérieures du conduit, ces pertes sont fonction de :

- longueur de la tuyauterie,
- diamètre interne de la tuyauterie,
- débit,
- rugosité de la tuyauterie,
- viscosité cinématique du liquide.

Une valeur sans dimension, le nombre de Reynolds est défini ainsi :

$$Re = V D \nu. \quad (8.15)$$

où :

$Re$  = nombre de Reynolds

$v$  = vitesse d'écoulement (m/s)

$D$  = diamètre interne de la tuyauterie (m)

$\nu$  = viscosité cinématique (m<sup>2</sup>/s)

Pour les pertes de charges peut s'écrire :

$$\Delta P = \lambda \frac{L v^2}{2 D g} \quad (8.16)$$

$\Delta P$  = pertes de charge linéaires (m)

$\lambda$  = facteur de rugosité

$L$  = longueur de la tuyauterie (m)

$v$  = vitesse d'écoulement (m/s)

$g$  = accélération de la pesanteur (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$D$  = diamètre intérieur de la tuyauterie (m).

### 2.3.3- Pertes de charge totales « $\Delta PT$ » :

C'est la somme des pertes de charge linéaires et singulières:

$$\Delta PT = \Delta PL + \Delta PS \text{ [Pa]} \quad (8.17)$$

### 2.3.4- Diamètres et vitesses:

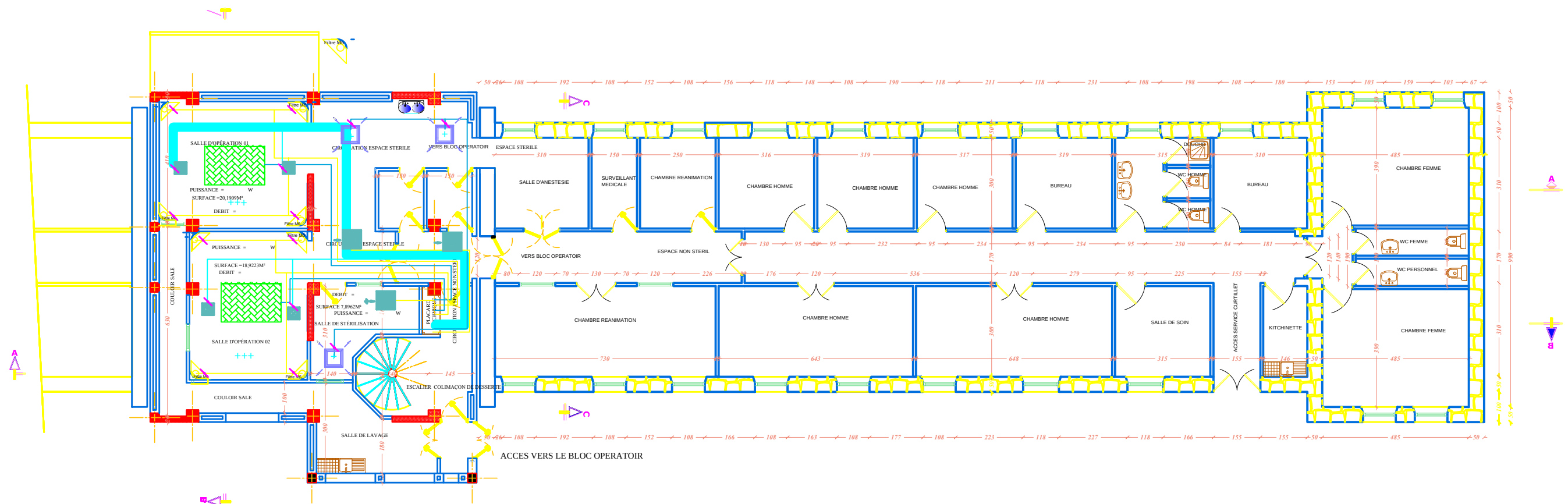
Pour le bloc opératoire:

- salle d'opération 1 avec 6 personnes.
- salle de stérilisation avec 2.5 personnes.
- salle d'opération 2 avec 6 personnes.

| PDC<br>Linéaire | Local  | Débit             | Débit<br>cumulé   | Vitesse<br>de<br>calculer | Vitesse<br>réel | Diamètre<br>calculé | Diamètre<br>installe |        | L.tr   | PDC<br>Tot<br>branche |
|-----------------|--------|-------------------|-------------------|---------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|--------|--------|-----------------------|
|                 |        | m <sup>3</sup> /h | m <sup>3</sup> /h | m/s                       | m/s             | mm                  | mm                   | Pa/m   | m      | Pa                    |
|                 | s.op1  | 360               | 324               | 5                         | 4.48            | 151.388             | 160                  | 2.3705 | 12.64  | 29.963                |
|                 | s.stré | 140               | 135               | 5                         | 4.78            | 97.720              | 100                  | 4.0970 | 1.57   | 6.4324                |
|                 | s.op2  | 360               | 360               | 5                         | 4.48            | 151.388             | 160                  | 2.370  | 18.519 | 43.899                |

2.3.5- Résultats des pertes de charge :

| Repère                                     | local                                       | Diamètre<br>carre | diamètre<br>carre | Vitesse de<br>calcul | longueur<br>L | Viscosité | Reynolds       | Zeta | Lambda          | PDC<br>linéaire | PDC<br>singulière | PDC<br>Totale           |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------|----------------|------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------------|
|                                            |                                             | (mm)              | (m)               | (m/s)                | (m)           |           |                |      |                 | Pa              | Pa                | Pa                      |
| CTA                                        | Grille                                      | 151.38            | 0.151             | 5.00                 | 12.789        |           |                |      |                 |                 |                   | 62.982                  |
|                                            | Longueur1                                   | 151.38            | 0.151             | 4.48                 | 0.979         | 0,000015  | 45212,16       |      | 0,00141<br>5548 | 0.111           |                   |                         |
|                                            | coude<br>90                                 | 151.38            | 0.151             | 5.00                 | 2.32          | 0,000015  |                | 0,5  |                 |                 | 7.525             |                         |
|                                            | Longueur 2                                  | 151.38            | 0.151             | 5.00                 | 3.92          | 0,000015  | 51126,66<br>67 |      | 0,00125<br>1793 | 0,4942<br>9566  |                   |                         |
|                                            | coude<br>90                                 | 151.38            | 0.151             | 4.48                 | 4.23          | 0,000015  |                | 0.5  |                 |                 | 6.041             |                         |
|                                            | coude<br>T                                  |                   |                   | 5.00                 |               | 0,000015  |                | 1.4  |                 |                 | 21.07             |                         |
|                                            | longueur 3                                  | 151.35            | 0.151             | 5.00                 | 5.37          | 0,000015  | 45098,66<br>67 |      | 0,00141<br>9111 |                 | 7.525             |                         |
|                                            | coude<br>90                                 | 151.38            | 151.38            | 4.48                 | 1.34          | 0,000015  |                | 0,5  |                 | 0.651           |                   |                         |
|                                            | gaine<br>carre                              |                   |                   | 5.00                 |               | 0,000015  |                | 1.3  |                 |                 | 19.565            |                         |
|                                            | Pertes de charge totale avec majoration 20% |                   |                   |                      |               |           |                |      |                 |                 |                   |                         |
| Pertes de charge aux gaines fixables       |                                             |                   |                   |                      |               |           |                |      |                 |                 |                   | 3.5                     |
| Pertes de charge aux gaines réglage        |                                             |                   |                   |                      |               |           |                |      |                 |                 |                   | 50                      |
| Pertes de charge aux filtres (H14, F4, F9) |                                             |                   |                   |                      |               |           |                |      |                 |                 |                   | 400+150<br>+200=<br>750 |
| Pertes de charge Totales                   |                                             |                   |                   |                      |               |           |                |      |                 |                 |                   | 879,078                 |



| LEGENDE                                                                               |                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|  | Diffuseur de soufflage                  |
|  | Gaine P3 Reprise pour bloc operatoire   |
|  | Gaine P3 Soufflage pour bloc operatoire |
|  | Niveau de pression selon local          |
|  | Voilet de réglage d'air                 |
|  | Grille de reprise                       |

## **Chapitre VI**

### **Choix du système de climatisation**

**1- Introduction :**

La notion de confort est très difficile à cerner, dépendent de plusieurs facteurs physiques et psychologiques, et différent d'une personne à une autre et le but de climatisation est d'arriver à fournir aux occupants des locaux une ambiance confortable en contrôlant :

- La température locale.
- L'hygrométrie du local.
- La vitesse de circulation de l'air et sa pureté.
- Le niveau de sonore.

Et nous appelons un système de climatisation l'ensemble des équipements et de conduits qui nous permettant d'arriver à créer cette ambiance.

**2- Les systèmes de climatisation :**

Les différents procédés que nous venons de voir peuvent être mis en œuvre suivant plusieurs systèmes, les différents équipements qui contribuent au traitement de l'air peuvent être soit :

**2.1- Centralisé :** c'est -à-dire que la production d'énergie est assurée par un seul élément centralisé généralement de grandes dimensions.

**2.2- Semi centralisé :** Une partie du fluide primaire est refroidie par un équipement externe, puis le traitement est complété par des unités terminales à l'intérieur du local.

**2.3- Décentralisé :** La production du froid et chaud est local, par des équipements de faible puissance généralement.

**3- Les critères de sélection**

- **3.1 - Encombrement :** pour raisons d'espacés, nous ne pouvons parfois recourir à des équipements relativement encombrant tel que de grands groupes de refroidissement et de CTA.
- **3.2 - Critères technique :** Certaines applications spécifiques telles que des salles informatiques requièrent une installation capable de répondre à ces exigences, tel que des armoires de précision.

- **3.3 - Economique:** certaines installations dépassent les capacités financières des clients lors de l'acquisition ainsi durant l'exploitation (consommation électrique...)
- **3.5 - Esthétique:** Le conditionnement de l'air de certains locaux tels que chambre d'hôtel, bureau de cadre supérieur, impose une présentation intérieure soignée.
- **3.6 - Le niveau sonore:** Les nuisances sonores peuvent être un critère de sélection d'une installation de climatisations dans les locaux doit être d'un niveau assez bas tel que les hôpitaux, les salles technologiques.
- **3.7 - Environnement:** certaines installations sont plus d'un titre, polluante vu leur grandes consommations énergétique et les fluides primaires qui le composants (Les systèmes à détente directe).

Dans notre cas nous avons choisi un système qui assurera la climatisation d'une zone bien déterminée.

#### **4- Système retenue :**

**Les procédés faisant appel aux fluides frigorigènes :** composé d'une CTA installée sur le toit et qui assure l'alimentation d'une série des cassettes placées dans les locaux, deux salles d'opération, salle de stérilisation.

#### **5- Le système VRV (variable refrigerant volume system) :**

##### **5.1- Principe :**

Les systèmes de climatisation à volume de réfrigérant variable (VRV) sont des systèmes à détente. Composés d'une unité extérieure connectée à un (ou plusieurs) évaporateur par des conduits frigorifiques, les VRV fonctionnent suivant le même principe que les « split système » (7).

Conçu pour les besoins d'économie d'énergie, les systèmes de climatisation à volume de réfrigérant variable sont équipés de régulateurs électroniques dernières générations. Ils suivent et adaptent automatiquement la production du froid aux différentes variations de charges des locaux.

Afin de choisir les unités intérieures et le dimensionnement du système VRV, il faut utiliser le catalogue du constructeur. Chaque unité intérieure est représentée par son indice dans ce dernier. La somme totale des indices donne la taille de l'unité extérieure.

L'unité extérieure du système repose principalement sur le compresseur à spirale et le condenseur, mené d'un ventilateur pour extraire la chaleur de réfrigérant. De leur côté, les unités intérieures sont composées d'un échangeur de chaleur air/fluide frigorigène ainsi que d'une vanne de détente électronique.

Cette unité installée en face de l'extension, au niveau du premier étage et du rez-de-chaussée de l'immeuble l'avoisinant. Dans notre cas nous avons utilisé;

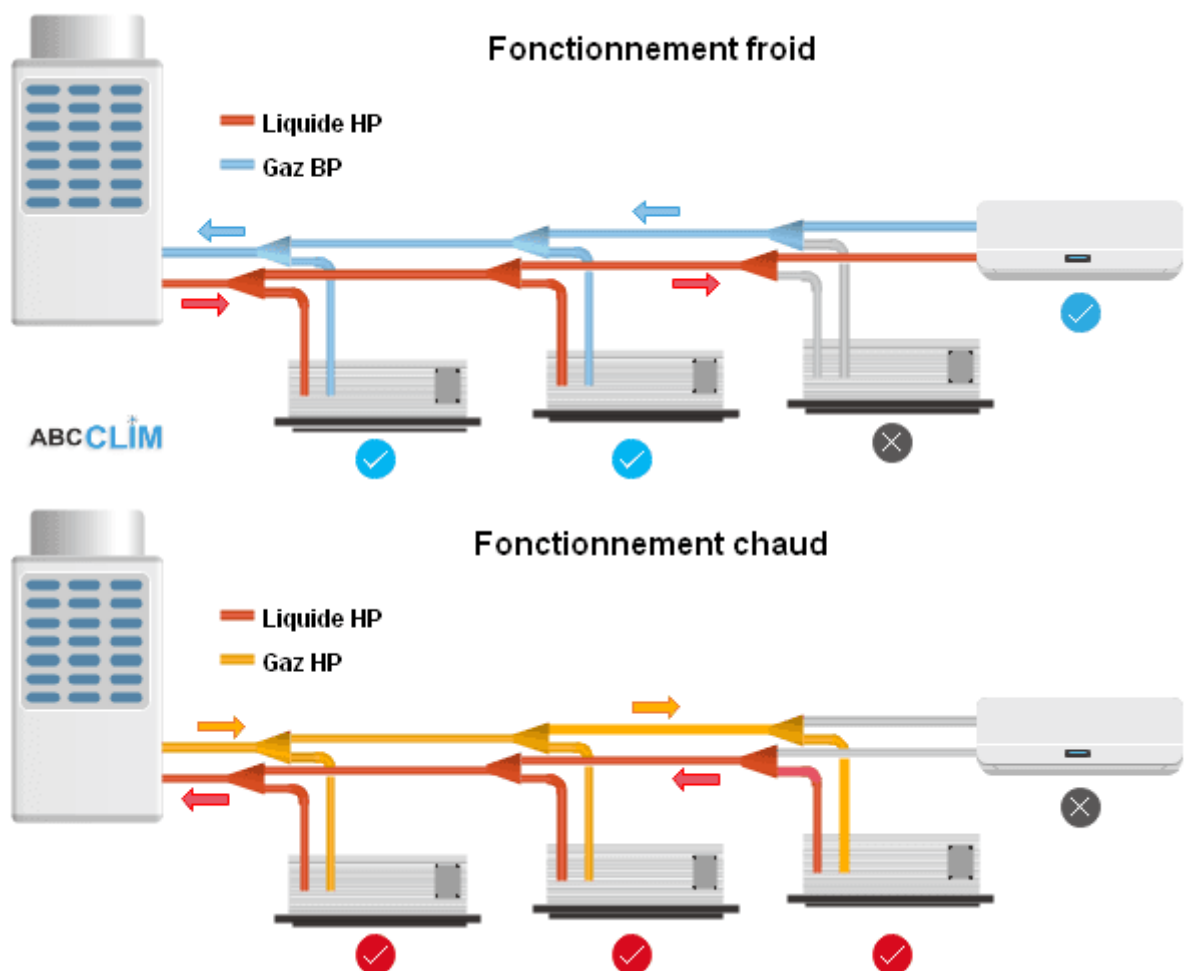


**Figure VI.1 :** Schéma d'une installation VRV 2 tubes à fonctionnement chaud et froid

**5.2- Le VRV, 2 tubes :**

Chaque unité intérieure est réglée de manière autonome, en froid comme en chaud. Le détendeur électronique placé dans chaque unité permet d'optimiser l'alimentation en fluide frigorigène.

**5.3- Les avantages et les inconvénients de VRV :**

| <b>Avantages Les de VRV</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Les inconvénients de VRV</b>                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Haut technologie de régulation.</li><li>- Facilité d'installation.</li><li>- Flexibilité de modification.</li><li>- Fonctionnement silencieux et économie d'énergie.</li><li>- Commande individuelle ou centralisé.</li><li>- COP élevé.</li><li>- La panne du VRV affecte seulement une partie de l'immeuble.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Forte présence de circuit électronique.</li><li>- Nécessite la présence d'un technicien Spécialisé.</li><li>- Difficulté de réalisation du circuit frigorifique.</li><li>- Forte utilisation de fluide frigorigène et risque de fluide</li></ul> |

**Choix du diffuseur :**

Après avoir consulté le catalogue « LG », nous avons opté pour les cassettes à quatre voix « AENU12GTRB4 » (plafonniers).

La cassette à 4 directions à conception monobloc est adaptée aux panneaux. Pouvant se loger à l'emplacement d'une dalle de plafond grâce à ses dimensions, cette unité intérieure mince, aux dimensions compactes réduit les imitations d'installation dans différents espaces.

**5.4- Unités extérieures :**

Son rôle est d'assurer le transfert de la chaleur contenue dans le fluide frigorigène en haute pression vers l'air extérieur. Lors de cet échange, le fluide se condense progressivement et baisse en température.

**5.5- Le fluide frigorigène :** on utilise le R410-a. C'est un fluide frigorigène HFC (Hydro Dluoro Carbones) qui présente de meilleures qualités physiques que le R407C. C'est aussi un fluide pur, c'est-à-dire que ce n'est pas un mélange d'autres fluides. Les HFC remplacent maintenant les CFC qui étaient très nocifs pour la couche d'ozone.

- avec montant préfixé sur facture à 16.5 kg
- **GPW :** Un objet de stratégie de groupe, est un ensemble de paramètres de stratégie de groupe qui définissent à quoi va ressembler à un système et comment il va se comporter pour un groupe défini d'utilisateurs à 2087.5

**6- Description générale de la «MULTV»:**

La MULTV5 fait appel aux dernières technologies du compresseur Invertir, aux traitements anti corrosion Océan Black Fin, à des pales de ventilateurs de conception biométrique. Par ailleurs, le Duo Sensing Contrôle, permet aux utilisateurs de bénéficier d'un environnement confortable en optimisant température et humidité de l'air tout en optimisant l'énergie nécessaire au refroidissement ou au chauffage. Ce système permet donc de répondre à une grande variété de bâtiment.

**6.1- Caractéristique de MULTI V5 :**

- **Smart load control (SLC) :**

Détection à la fois de température et humidité pour adapter la puissance restituée afin d'accroître l'efficacité énergétique et le confort d'ambiance.

- **Confort cooling :**

Meilleure efficacité à charge partielle et puissance de chauffage à basse température pour améliorer le confort de l'utilisateur.

- **Injection de vapeur :**

Augmente la capacité de chauffage en mode chaud.

- **Compresseur Invertir :**

Permet un haut degré de performance avec un bas niveau sonore et de vibrations.

La présence de 6 by Pass permet d'éviter d'endommager le compresseur en cas de montée de pression excessive et soudaine.

- **HiPOR TM (High Pressure Oil Return) :**

Augmentation de l'efficacité du compresseur en supprimant les pertes d'énergie par un retour d'huile directe dans le carter du compresseur

- **Gestion de l'huile :**

Niveau d'huile contrôlé en temps réel par le compresseur, permettant l'augmentation du temps chauffage.

- **Renforcement des roulements (P E E K) :**

Réduction des frottements en utilisant une nouvelle conception de roulement faits dans les matériaux polymère

- **La technologie biomimétique sue le ventilateur :**

Inspirés de la baleine à bosse, les tubercules sur les bords de fuite évitent les turbulences tout en augmentant la vitesse d'éjection d'air des pales comme le font les nageoires pectorales dans le milieu marin.

- **OCEAN BLACK FIN :**

Conditions extrêmes. Aussi, le film hydraulique permet d'accumuler l'eau dans Le revêtement noir vient apporter une forte couche de protection, idéale pour les ailes de l'échangeur, minimisant ainsi la formation de moisissure. Ces améliorations de matériaux permettant non seulement un traitement spécifique pour une protection renforcée, mais aussi longue durée de vie même dans les ambiances salines ou corrosives, tout en réduisant les coûts opérationnels et des maintenances.

- **Facilité d'installation:**

La capacité du MULTI V 5 a été rehaussée pour qu'une unité avec un module unique puisse atteindre 26 cv, dans le but de faciliter le processus d'installation.

Cet avantage réduit considérablement la durée d'installation, mais aussi l'empreinte au sol.

### **7- Simplification des tests de fonctionnement grâce à LGMV :**

LGMV mobile permet de procéder à des tests de fonctionnement rapide et précis pour réduire le temps de mise en service.

- **Auto test run :** Application mobile permettent de lancer des tests de fonctionnement selon les réglages rentrés, puis de consulter les reports et analyses de ses tests.
- **Réfrigérant diagnose solution:** Contrôle régulier de la quantité de réfrigérant circulant dans le système afin de procéder à un ajustement automatique si nécessaire, fonction de la charge et du mode de fonctionnement.
- **Paramétrage facilité pour installateurs:** les installateurs désormais facilement à gérer le paramétrage depuis leurs mobiles avec l'application pour Mltv V 5. En effet, les réglages des fonctions Smart Load Control et Dual Sensing Control peuvent être facilement gérés depuis l'application LGMV.

### **8- Une centrale traitement de l'air (abréviation correspondante: CTA)**

Est un organe technique de traitement d'air, système visant à modifier les caractéristiques d'un flux d'air entrant par rapport à la commande. Elle constitue l'un des organes principaux d'un système de CVC (chauffage, ventilation et climatisation).

Le rôle de CTA est de prendre l'air ambiant, de lui faire subir un traitement (le chauffer ou le refroidir) et de l'insuffler via les réseaux de gaines aérauliques dans les locaux ayant besoin de l'air neuf traité.

Les CTA sont installés à l'extérieur des locaux à climatiser (par exemple la terrasse).

**8.1- Différents types de CTA existant :** CTA d'air neuf, centrale traitement de l'air neuf uniquement. Ou CTA d'air recyclage : centrale qui recycle l'air ambiant et le traire au passage, mélangé à l'air neuf provenant de l'extérieur.

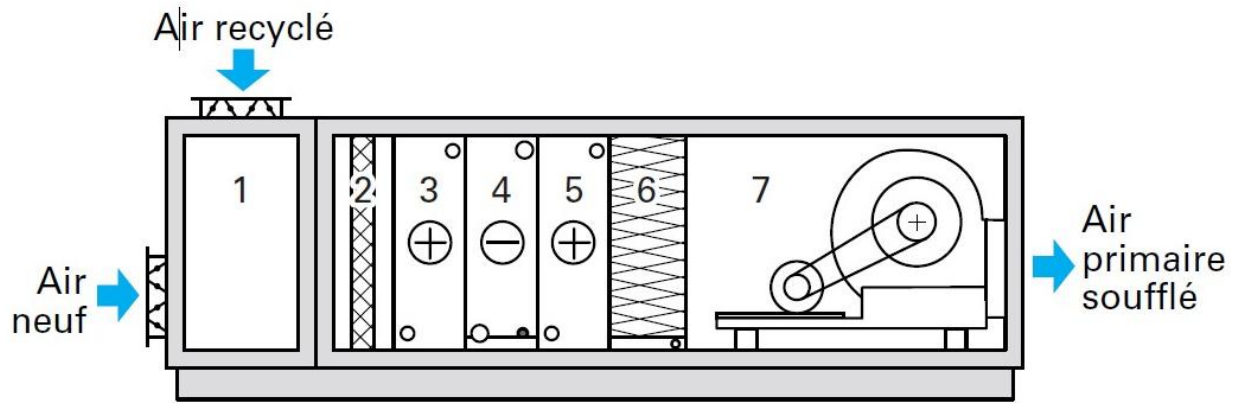


**Figure VI.2 :** Exemple de composition d'une centrale de traitement d'air

- (1) Un caisson de mélange.
- (2) un caisson de filtration
- (3) une batterie chaude (pré chauffage)
- (4) une batterie froide
- (5) une batterie chaude (réchauffage)
- (6) un humidificateur
- (7) un ventilateur

## 8.2- Les éléments de la centrale traitement de l'air :

Les centrales sont généralement composées de :

### a. Filtres:

La filtration permet la décontamination de l'air neuf, hygiénique introduit. Elle assure aussi la rétention des particules dégagées à l'intérieur même de la salle, pour cela on utilise généralement plusieurs filtres.

La qualité d'une filtration dépend du choix des filtres et de leur installation.

Ces filtres plans sont utilisés en pré filtration de l'air sur les centrales de traitement de l'air.

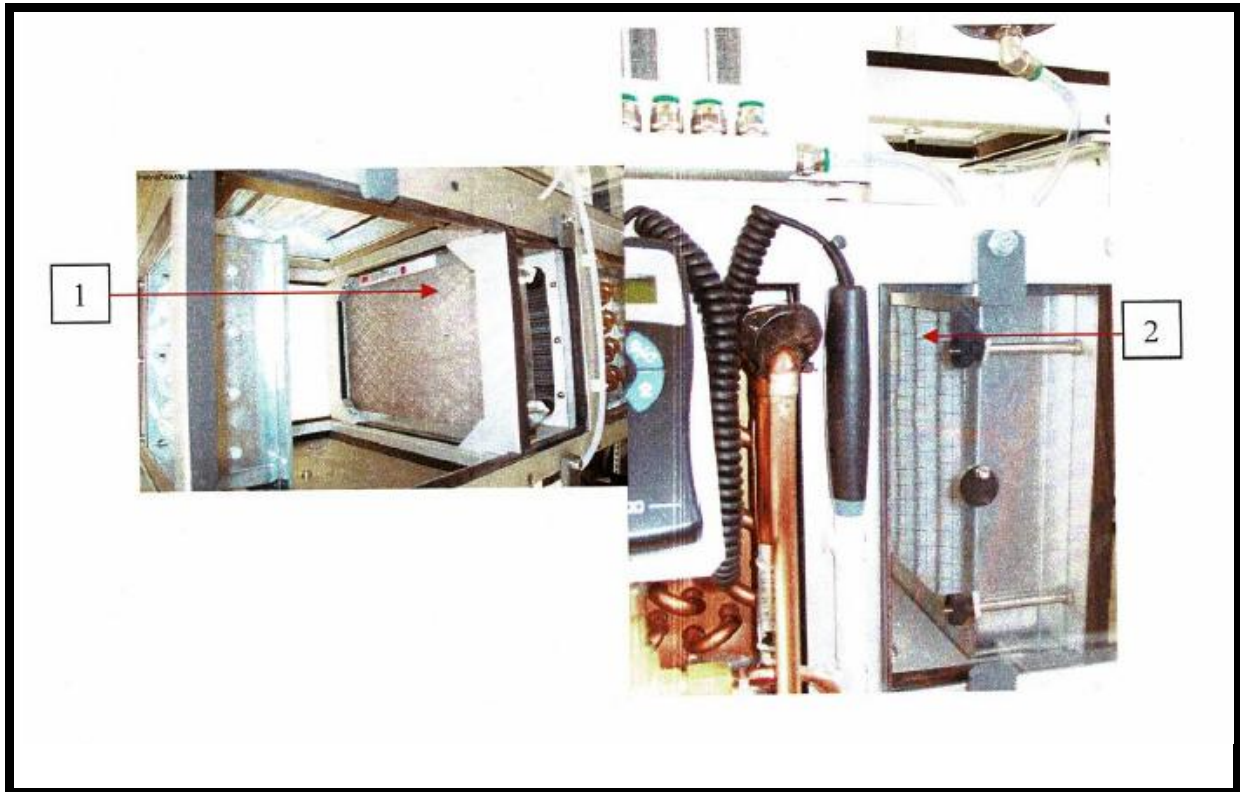


**Figure VI.3 :** Filtres à plan gravimétrique (1) et à poche opacimétrique (2)

**Filtre gravimétrique :**

Epaisseurs 2 pouces.

Vitesse de passage 2.5m/s.

Efficacité gravimétrique de 75à 80%.

Classe EN 779 G2.

Pertes de charge initiale 150 Pa.

**Filtre opacimétrie :**

Classe EN 779 G3.

Pertes de charge initiale 200 Pa

**b. Caisson de mélange :**

**Rôle :** Le caisson de mélange standard (2 voies) est généralement utilisé pour réaliser le mélange de deux airs :

- L'air neuf.
- L'air recyclé.

Il est destiné par fois à assure une sélection de circulation de circuit.

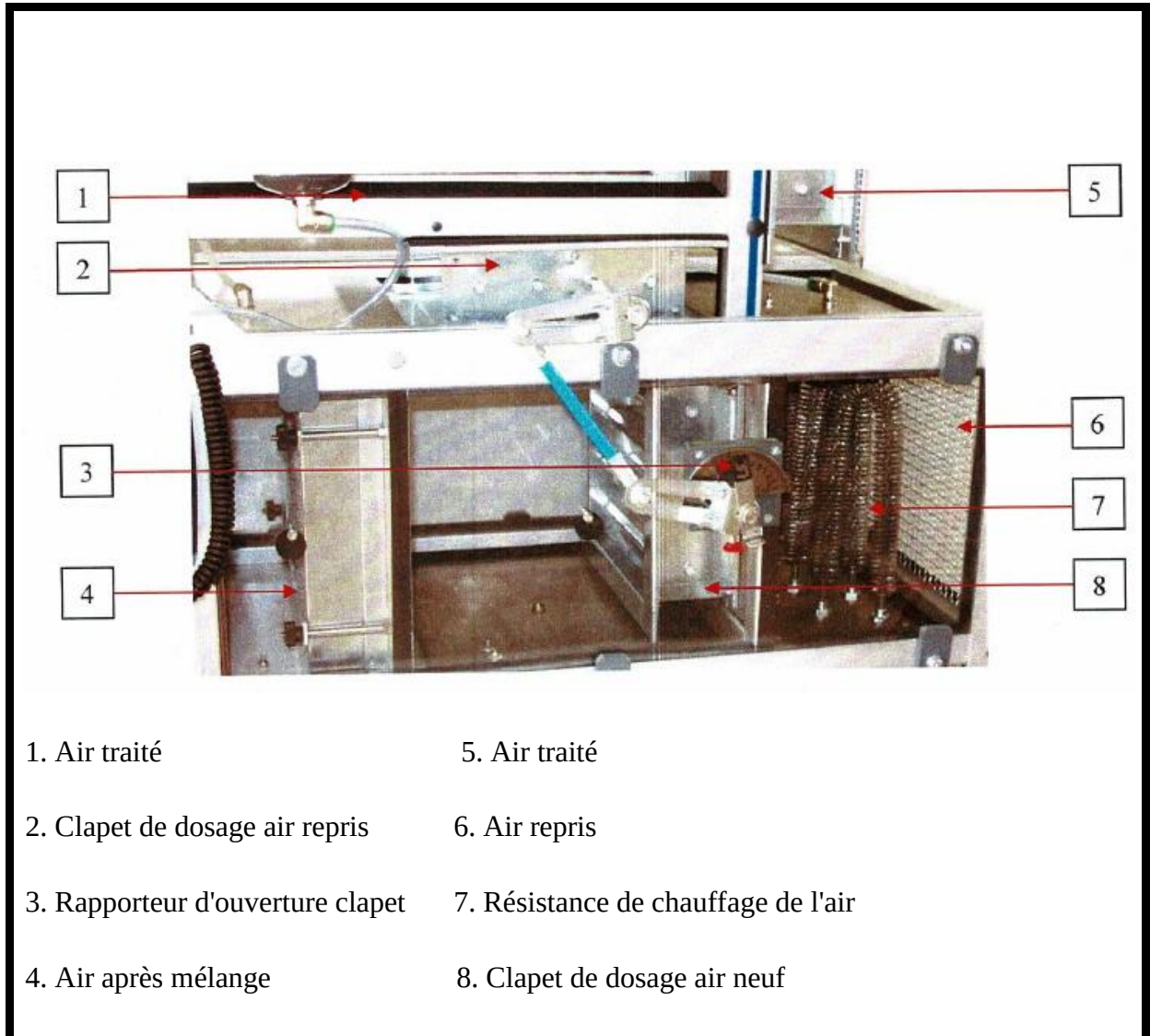


**Figure VI.4 : Caisson de mélange**

**Fonctionnement :**

Le caisson de mélange standard "2 voies " comporte, à l'intérieur ou à l'extérieur.

Le caisson de mélange économiseurs à 3 voies permet d'assurer :

- Le dosage et l'extraction d'air vicié.
- Le dosage et l'introduction d'air neuf.

- Le dosage de l'air recyclé.

### c. Batterie froide :

Alimentée en eau froide, en provenance d'un groupe d'eau glacée, ou en fluide frigorigène. Elle a une double action de mise température «refroidissement» de l'air à traiter et de déshumidification par formation d'eau condensée. Pour éviter les risques de contamination les circuits d'élimination des condensats doivent être maîtrisés.

Alimentée en eau froide, en provenance d'un groupe d'eau glacée, ou en fluide frigorigène. Elle a une double action de mise température "refroidissement" de l'air à traiter et de déshumidification par formation d'eau condensée. Pour éviter les risques de contamination les circuits d'élimination des condensats doivent être maîtrisés.

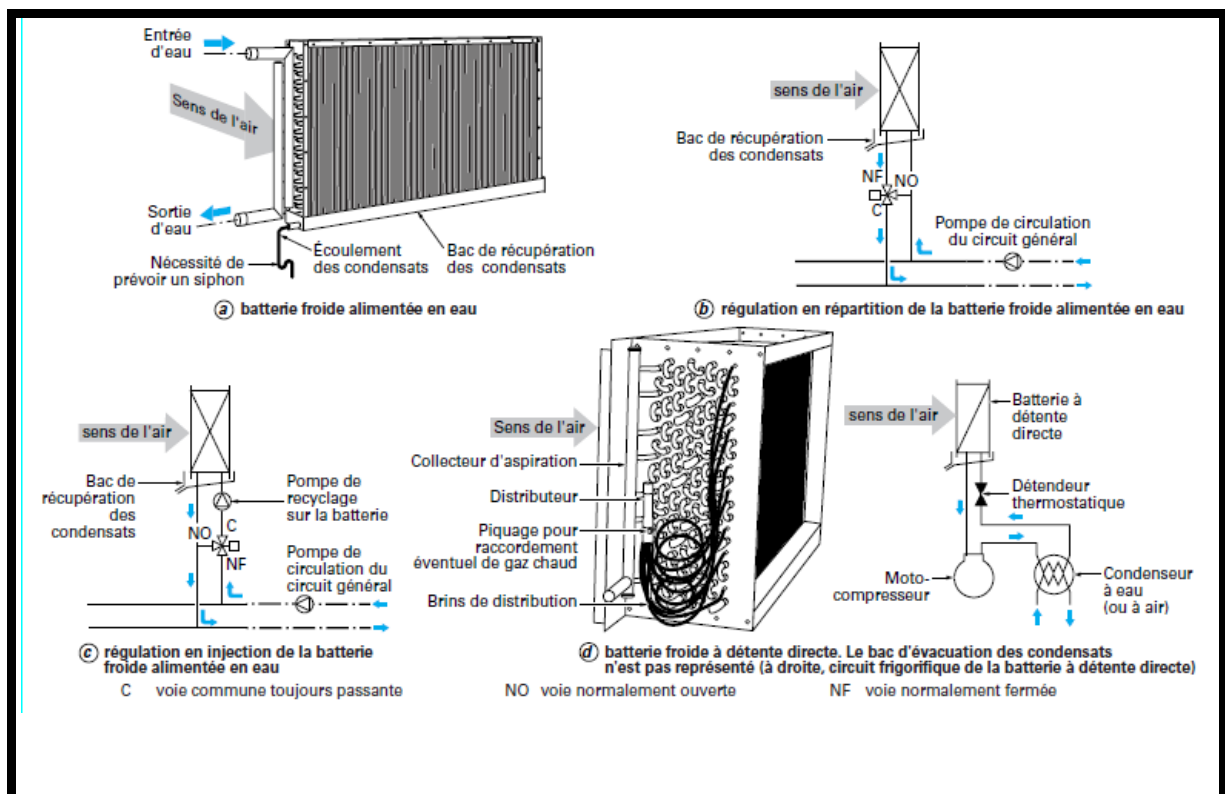


Figure VI.5 : Batterie froide

### d. Batterie chaude électrique :

La batterie chaude peut être électrique. Elle est composée de deux types de résistances :

1. Les résistances blindées ce sont des tubes à ailettes spiralées et en inox .Le branchement s'effectue sur barrettes de cuivre.
2. Les résistances à fils nus; ce sont des fils de faibles inertie. Le branchement s'effectue sur bornes par bloc peccable.

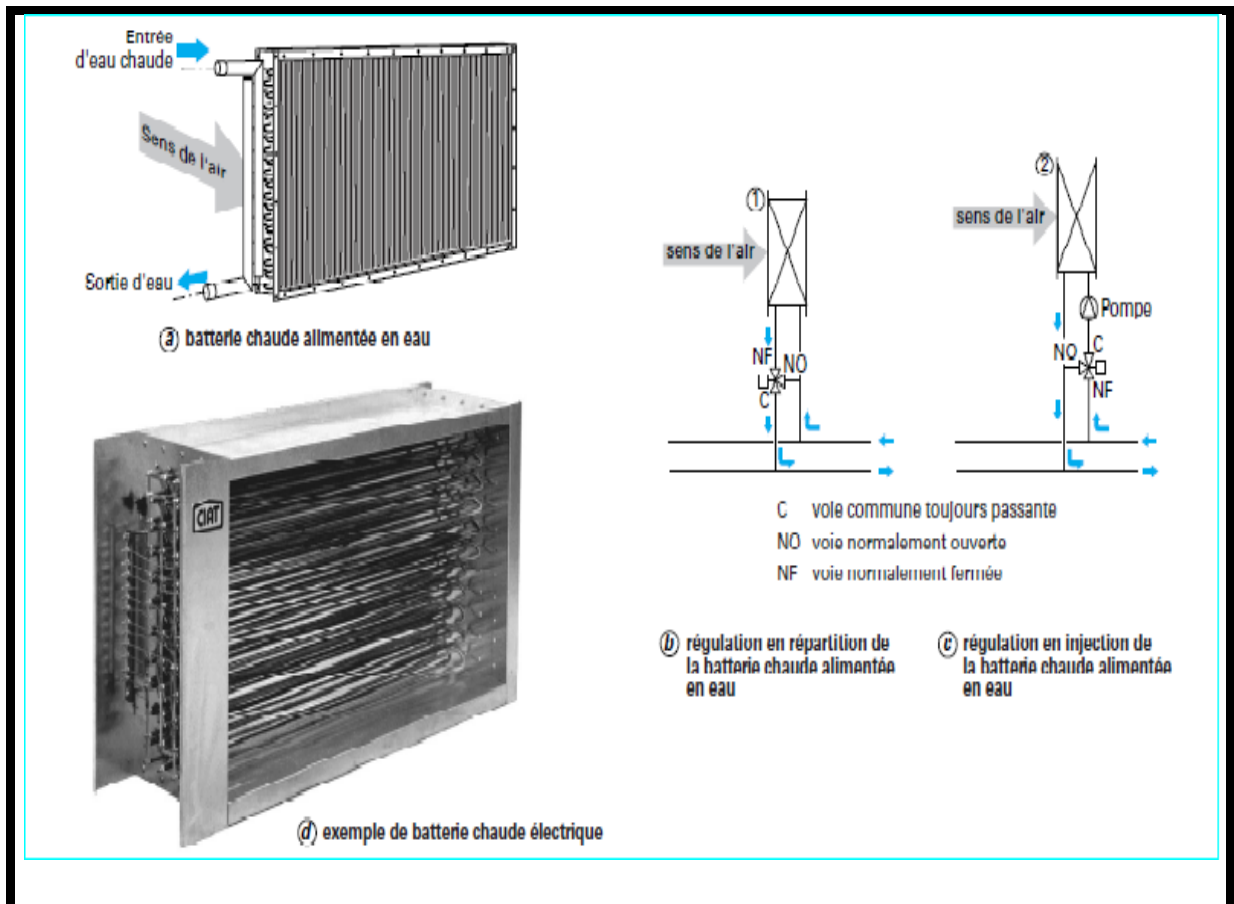


Figure VI.6 : Batterie chaude

### 8.3 - Résistance enroulées :

Les échanges thermiques sont améliorées par la présence d'une lamelle métallique enroulée autour de la résistance chauffante.

Les turbulences ainsi créés dans l'air ou dans le gaz permettent de disposer d'une puissance 2 à 3 fois supérieure à celle admise par une résistance nue dans les mêmes conditions.

- Bénéficiant d'une température de surface plus basse, et de dimensions plus faibles, les résistances enroulées conviennent parfaitement au chauffage par convection, au chauffage d'air, à la réalisation de tours, d'armoires de séchage, de système de séchage

de peinture, d'appareil de conditionnement d'air.

**- Résistances enroulées en inox :**

Chauffage juste à 300°C avec une vitesse d'air minimum de 5m/s.

Tension d'alimentation : 230 V mono.

Formées en épingle, équipées de bouchons filetés M 14\*1.5\*12mm en acier protégé avec joints (pression maxi 100 mm CE).

Tube en Inox 321 et ailettes en Inox 304 L.

Connexion par bornes filtrées M6 en acier doux, étanchéité TM (200° C max, à la connexion).

**- Résistance à ailettes :**

La résistance à ailettes est une solution pour chauffer de l'air ou un gaz par convection naturelle ou forcées. La puissance nécessaire, les températures d'utilisation et la vitesse du gaz à chauffer vous orienteront vers modèle adéquat.

Les résistances à ailettes VULCANIC, sont fabriquées à partir des éléments blindés, sur lesquels sont rapportés des ailettes.

Ces résistances à ailettes rectangulaires sont disponibles exclusivement forme d'épingle (en U).

Convection naturelle

*Convection naturelle*

| Température. Air ambiante maxi | Charge maxi         |
|--------------------------------|---------------------|
| 80°C                           | 5 W/cm <sup>2</sup> |
| 140°C                          | 4 W/cm <sup>2</sup> |
| 200°C                          | 2.7 W/cm            |

Convection forcée pour température d'air à 200°C maxi

| Débit mini | Charge maxi        |
|------------|--------------------|
| 2m/s       | 4W/cm <sup>2</sup> |
| 3m/s       | 5W/cm <sup>2</sup> |

#### e. Humidificateur :

Il assure l'humidification de l'air. L'eau arrivant à l'humidificateur ne doit pas générer de germes. Il existe deux types de technologies :

Humidification à pulvérisation qui pulvérise directement l'eau, si cette technologie est déjà mise en place, il est recommandé d'effectuer des contrôles réguliers de qualité de l'eau.

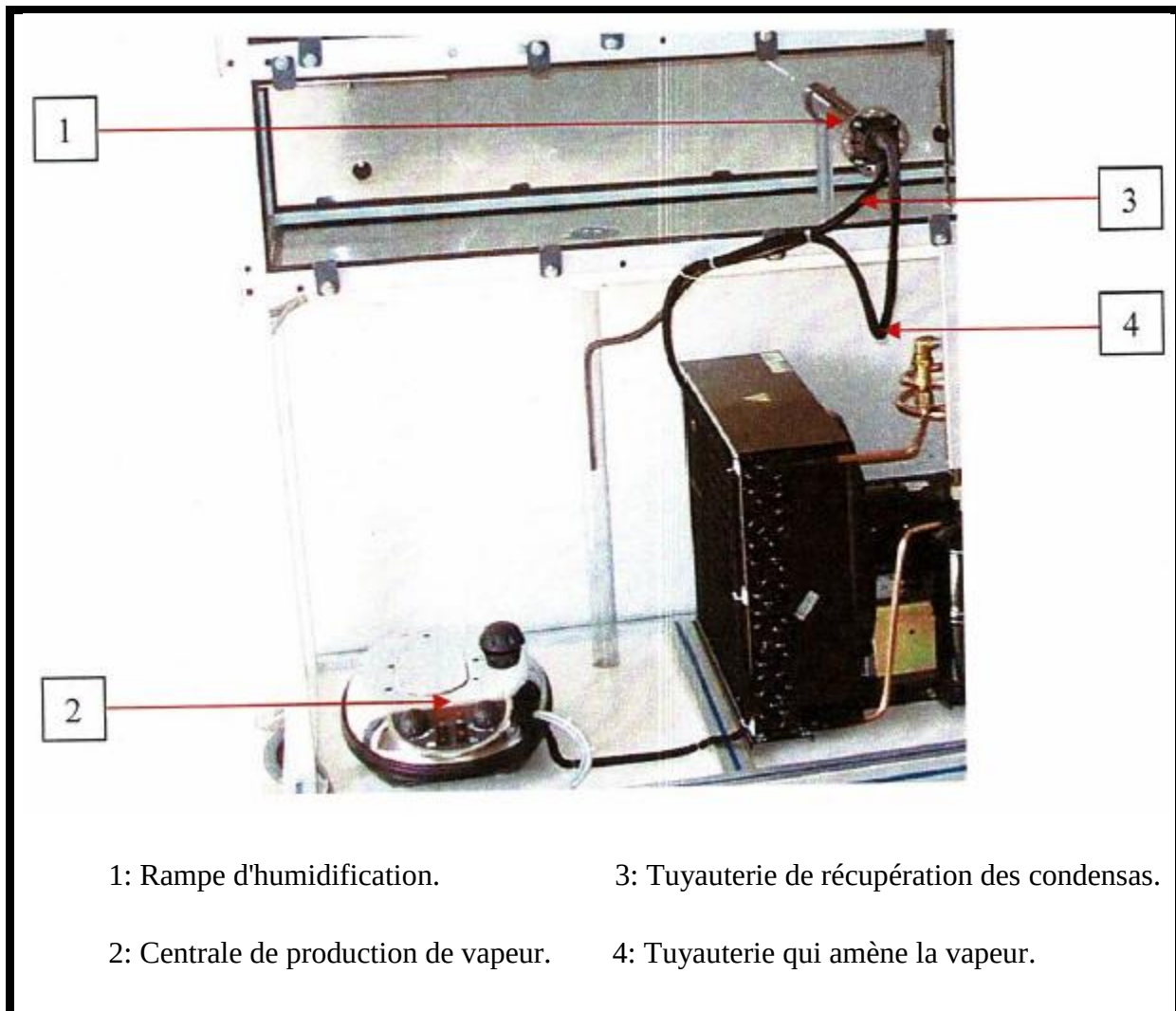


Figure VI.7 : Humidificateur

**f. Ventilateur :****- Rôle et fonctionnement :**

Assurent la circulation de l'air et permettent de maintenir les pièces à une légère surpression dans :

- Dans la centrale de traitement d'air elle-même.
- Dans le réseau de distribution d'air, par les gaines de soufflage.
- Dans le réseau de reprise d'air, par les gaines d'aspiration

**9 - Caractéristiques****• Groupe**

Groupe de condensation hermétique avec condenseur à air.

**• Caractéristiques techniques :**

|                                    |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| Puissance frigorifique             | 4230watts à 5°C       |
| Débit d'air                        | 2250m <sup>3</sup> /h |
| Puissance ventilateurs condenseurs | 90watts               |
| Réservoir liquide                  | 2.35litres- 32bars    |
| Tuyauterie d'aspiration            | 5/8                   |
| Tuyauterie de refoulement          | 3/8                   |

**• Ventilateurs**

Ventilateur centrifuge double ouïes

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| Débit               | 4464m <sup>3</sup> /h |
| Rotation par minute | 1600tr/min            |
| Nuisance sonore     | 80dB                  |
| Pression            | 130 Pa                |

- **Humidificateur**

Chaudière vapeur.

Puissance : 1500 W.

Tension d'alimentation 230 V.

Capacité utile : 2L.

Capacité totale : 3L.

Pression réglable : 4 bars maxi.

Débit de vapeur réglable: 180 g/min.

Autonomie : 4 h.

Matériau chaudière : 18/10

- **Batterie chaudes**

Batterie de préchauffage :

Résistance en virolées.

Tube et ailettes inox.

Puissance 850 W .K

**Utilisation :**

- **Installation et raccordement :**

Placer l'équipement sur une surface lisse et plane.

Laisser minium 1.5 mètres autour de l'installation afin de permettre une utilisation optimum de l'équipement.

Bloquer la fiche male de l'installation sur prise femelle.

- **Précautions d'emploi**

L'équipement est une machine à but pédagogique et ne doit en aucun cas être utilisée dans un cadre autre que celui qui en est raisonnable attend.

Les utilisateurs devront prendre connaissance des informations données dans la notice avant utilisation de la machine.

Toute intervention électrique doit être réalisée par une personne qualifiée et après avoir vérifié que le sectionneur d'alimentation du coffret soit coupé et cadenassé et les parités tournantes de la machine soient arrêtées.

Après chaque intervention et avant toute utilisation, la machine doit être remontée dans son d'origine (cartes, réglage de sécurités) et une personne qualifiée et formée sur la machine doit effectuer un test de fonctionnement et s'assurer de la présence des différents éléments de sécurité

- **Descriptif de la mise en service :**

Vérification préliminaire

- Aucun élément n'empêchant la relation des éléments tournants (ventilateur,
- Présence de fluide frigorigène dans le circuit.
- L'état général de l'installation afin de s'assure qu'aucune pièce n'a pas été sérieusement endommagée ou démontée.

## **10 - Diffuseurs:**

### **Reprise:**

Grille de reprise porte - filtre spéciale pour le bloc opératoire.

### **Avantage :**

**Nettoyabilité accrue :** grille affleurant au cadre.

- Périphérique.
- Changement Rapide des filtres grâce au loquet 1/4de tour.

- Filtre visible depuis la salle depuis la salle permettant aussi une vérification aisée son encrassement.
- Filtre affleurant à la grille, évitant ainsi les «zones mortes».
- Plénum triangulaire spécial pans coupés pour angle de salle.



**Figure VI.8 : Plénum**

**Soufflage:**

**DUFFUSE BOX:** caisson porte-filtre terminal

**Filtre :** H14

**Grille :** 3;2 et uni Directions.



**Figure VI.9 : Caisson porte-filtre**

### Opacimétrique:

F7: FR VO F7.

Avantage :

- Filtre 2en : particulaire (poussière) et moléculaire.
- Spécialement conçu pour favoriser une bonne quantité d'air intérieure.
- Recommandé dans les zones urbaines.
- Incinérable.



**Figure VI.10 :** Filtre 2en particulaire (poussière) et moléculaire

# **Chapitre VII**

## **Régulation**

## 1- Introduction :

La régulation est une notion très importante dans la climatisation du fait qu'elle sert à maintenir les paramètres et les grandeurs physiques tels que la température, l'humidité, le débit dans les limites souhaitées et cela en fonction des conditions extérieures.

On désigne par régulation les processus au cours duquel une grandeur régulée (par exemple température, pression ... etc.) faisant l'objet d'une mesure continue qui sera ensuite comparée à une autre grandeur dite de référence, qui doit être maintenue constante ou une valeur prédéterminée et ce en dépit d'influences perturbatrices.

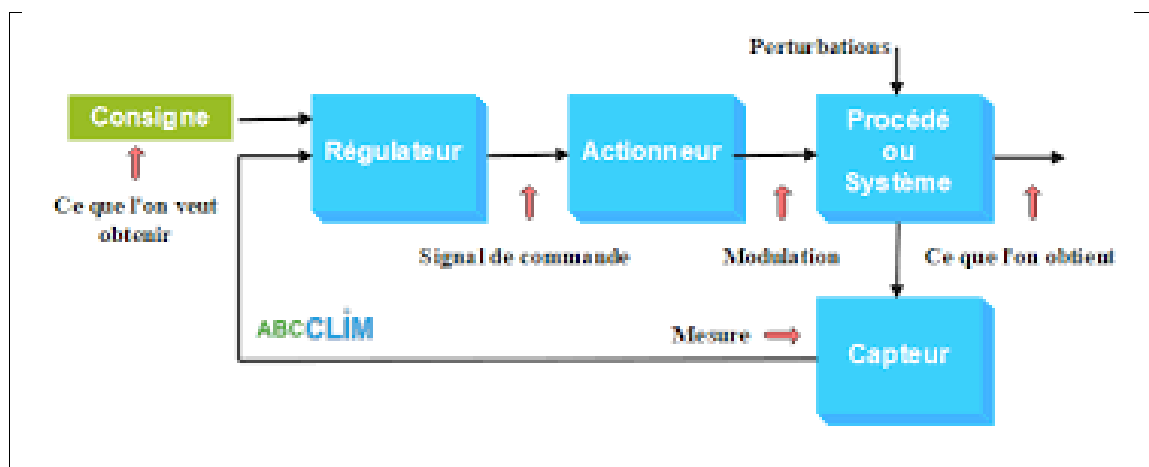


**Figure IV.1 :** Schéma d'un régulateur dans la climatisation

## 1. Définitions :

### 1.1- Le régulateur :

Organe intelligent du système, c'est l'élément qui s'occupe de déclencher ou pas le processus suivant les informations reçues du capteur (ou des capteurs) et la consigne souhaitée par l'utilisateur.

### 1.2- Le capteur :

C'est la sonde qui détecte la variation d'une grandeur physique, exp les thermostats ;

#### 1.2.a Thermostats :

Le bilame (figure 2) qui est l'élément sensible, est formé de deux parties métalliques se dilatant différemment sous l'effet de la chaleur. L'un de ces deux métaux est généralement l'invar très faible coefficient de dilatation. De ce fait, le bilame soumis, soit au chaud ou froid,

s'incurve. Il établit ou coupe le circuit électrique par l'intermédiaire de contact fixes et mobiles.

### 1.2.b- Température :

Le régulateur commande l'organe de froid ou de chaud en fonction de la température ambiante ou de reprise. Une zone neutre entre les deux actions permet d'obtenir deux consignes différentes.

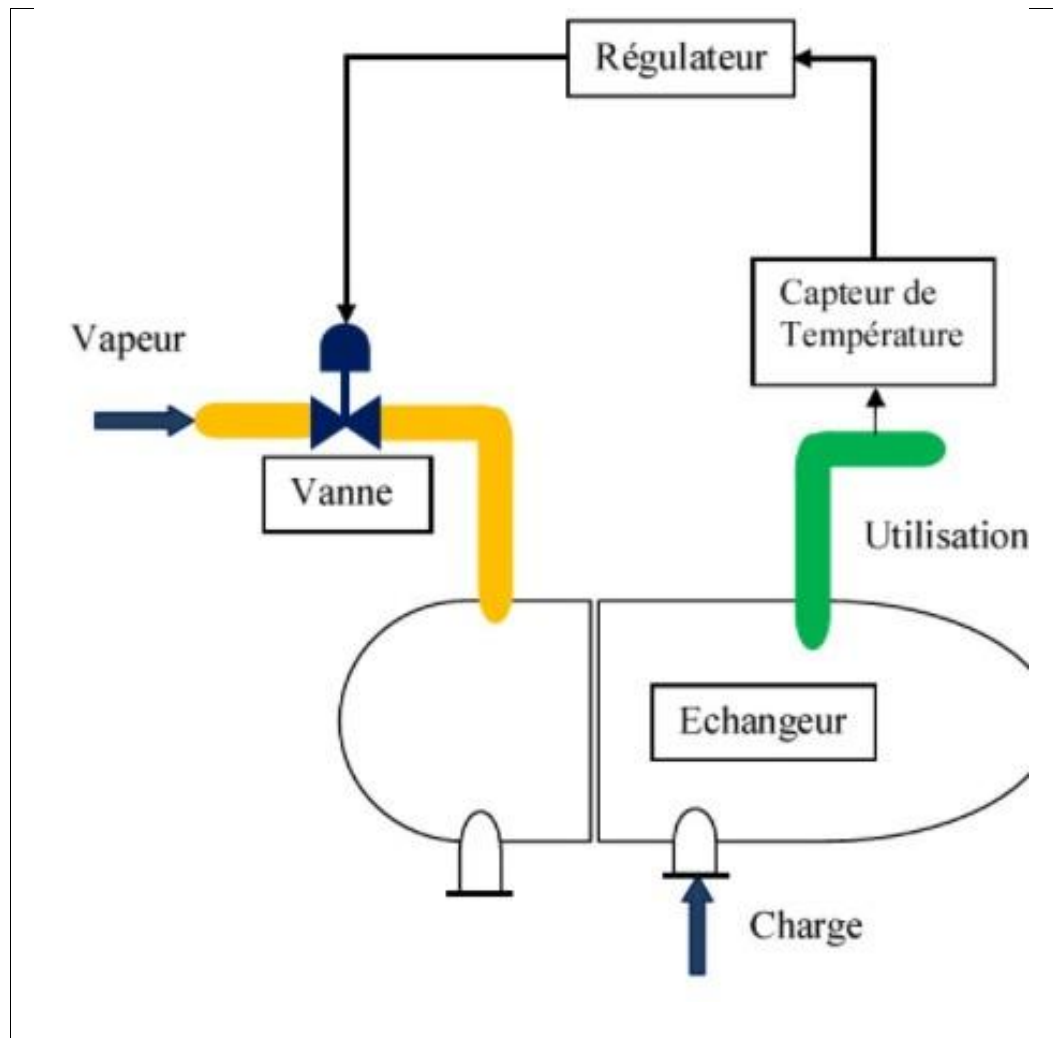


**Figure IV.2 :** Représentation d'une régulation de température

#### - Sondes de température :

La sonde de température pour le traitement d'air utilise principe de la variation de résistance électrique en fonction de température.

Tableau N° 1 : Différents types de sondes de température

| Principe            | Type           | Explication                         | Particularités                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Thermistance</b> | <b>CTN</b>     | Coefficient de température négative | La résistance <b>diminue</b> lorsque la température augmente.<br>La variation n'est pas linéaire, place la résistance en parallèle (diminue sensible( <b>50Ω/K</b> )).<br>Utilisé par certain constructeur.                                                                                     |
|                     | <b>CTP</b>     | Coefficient de température positive | La résistance <b>augmente</b> lorsque la température augmente.<br>La sensibilité situe vers <b>10Ω/K</b><br>Utilisé pour certains automates.                                                                                                                                                    |
| <b>Métallique</b>   | <b>PT100</b>   | Platine pour résistance 100 Ω à 0°C | La résistance <b>augmente</b> lorsque la température augmente.<br>Sensible de l'ordre de . <b>39 Ω/K</b> .<br>Linéarité excellente.<br>Fidélité et interchangeabilité.<br>Raccordement par <b>4 fils</b> pour s'affranchir de résistance de linge.<br>Courant en gestion technique de bâtiment. |
|                     | <b>Ni 1000</b> | Nickel pour résistance 1000 Ω à 0°C | La résistance <b>augmente</b> lorsque la température augmente .Sensibilité de l'ordre <i>de</i> 6 Ω /K.<br>Linéarité bonne.<br>Utilisée par plusieurs constructeurs pour sa sensibilité.                                                                                                        |

- **Sondes d'humidité relative :**

Les sondes d'humidité relative et l'hygrostat utilisent les mêmes principes.

- type selfique ; la variation de longueur du matériau hygroscopique déplace un noyau métallique à l'intérieur d'un entrefer ;

-type résistifs : la résistance électrique du gel hygroscopique varie en fonction de l'humidité relative;

- type capacitif : les molécules d'eau absorbées par le diélectrique polymère modifient la valeur de la capacité.

La valeur de la self, de résistance ou de la capacité est transformée en une tension continue .

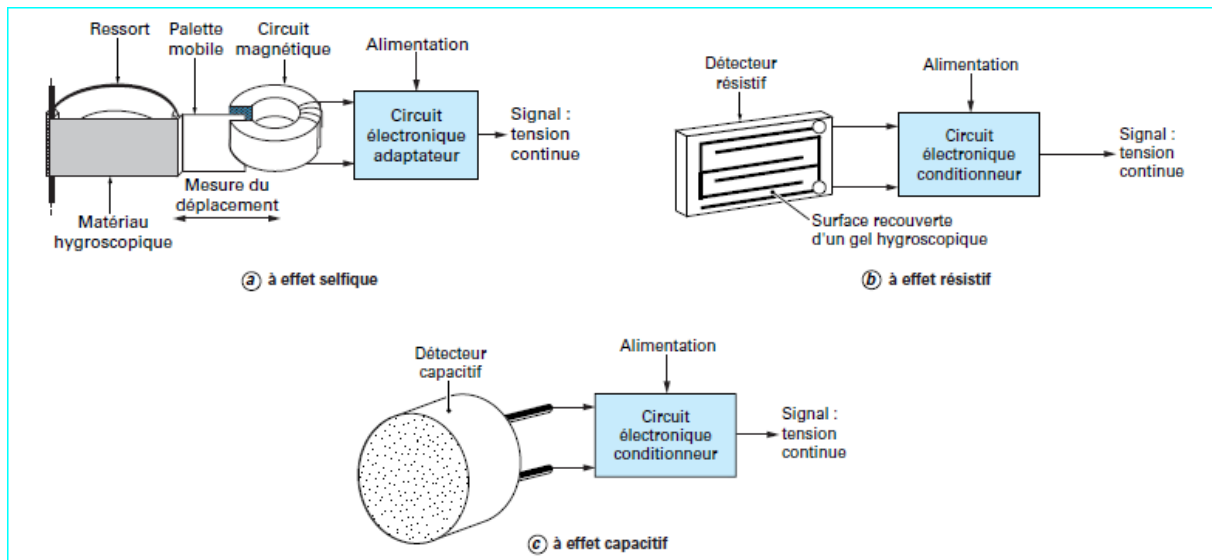


Figure IV.3 : Sondes d'humidité relative

### 1.3- Le convertisseur :

Permet de convertir la grandeur physique mesurée (température, vitesse, ...) en une grandeur physique normalisée compréhensible par boucle de régulation. Cette grandeur physique transformée doit correspondre à une tension continue ou à un courant continu.

### 1.4- Le processus (ou procès) :

C'est l'élément sur lequel agit la boucle de régulation, c'est le composant que l'on veut réguler, exp : la vitesse d'un moteur électrique.

### 1.5- L'amplification (organe de puissance) :

Cet organe permet de transformer les informations provenant de la sortie du régulateur en une grandeur compatible. Exp : La sortie 0 – 10 volts d'un régulateur PID est transformée en une tension 0 – 220 volts compatibles la résistance électrique d'un radiateur.

**1.6- La consigne (W) :**

C'est la valeur qu'on veut obtenir d'une grandeur à régler, exp : température , pression.

**2- Système économiseurs :**

Le système économiseur permet d'utiliser l'énergie la plus économique entre l'air repris et l'air extérieur pour répondre aux demandes des régulations. Un ventilateur d'extraction et caisson de mélange double effet est ajouté à la composition de centrale de traitement de l'air.

En régulation de température seule, la comparaison s'effectue sur la température. En régulation de température et l'humidité, la comparaison s'effectue sur l'enthalpie qui est calculée par régulateur à des mesures de température et de l'humidité relative. La régulation de l'économiseur compare les énergies et place les registres selon les demandes de régulation.

**3- Débit d'air :**

La régulation par variation débit d'air s'appelle aussi à **volume d'air variable (VAV)** est économique car :

- elle fait varier la puissance du ventilateur.
- le débit est calculé sur le plus fort besoin de froid simulé et non sur la somme des besoins maximum.

**4- La grandeur réglée (X) :**

C'est la valeur réelle de la grandeur dans une installation.

**5- La grandeur réglant (Y) :**

C'est la grandeur qui va agir sur le processus.

**6- Les perturbations (Z) :**

Ce sont des phénomènes qui peuvent modifier la bonne stabilité d' une boucle régulation.

- Le comparateur soustracteur ( $X_d$ ) :

Compare en permanence la consigne ( $w$ ) et la grandeur réglée ( $x$ ) et donne le résultat de cette comparaison au régulateur.

$$Xd = W - X \quad (4.1)$$

Le schéma suivant représente une régulation à boucle fermée :

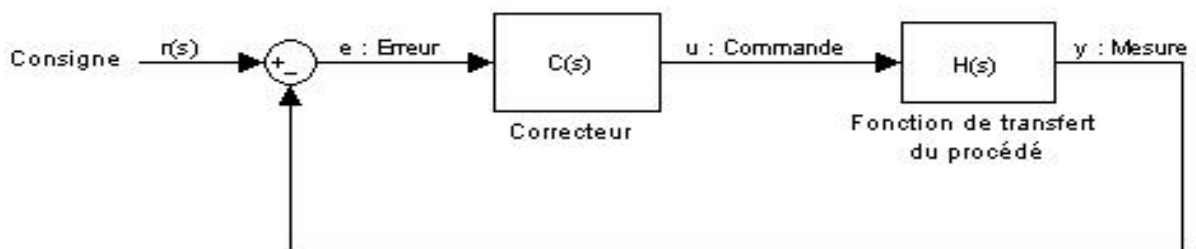


**Figure IV.4 :** Schéma d'une régulation à boucle fermée

## **Conclusion générale**

### Conclusion générale :

En règle générale, avant de concevoir une installation de climatisation, il faut impérativement connaître les contraintes de l'environnement climatique de l'édifice. Dans notre thème, nous avons suivi les étapes appropriées pour une étude d'une installation de climatisation.

Les établissements de santé sont des espaces très difficiles à climatiser du fait que tous les paramètres qui rentrent en considération doivent être respectés : la température, l'humidité, la qualité de l'air. Cela fait que, la climatisation d'un bloc opératoire est un défi pour tout ingénieur, c'est la technique et les normes sous tous leurs aspects qui doivent être respectées.

Nous avons effectué une étude des caractéristiques spécifiques ainsi que les différents appareils et leurs puissances, charges nécessaires pour obtenir les conditions et la stabilité climatique et assuré le confort de tous les occupants de chaque étage de l'établissement.

Cette étude menée au cours de ce travail de fin d'études a été très enrichissante à plus d'un titre, dans la mesure, où les cours théoriques ont été judicieusement mis en application à l'aide de différents procédés de calcul et nous a permis de puiser de nouvelles connaissances sur le conditionnement d'air et la climatisation de manière générale.

Le choix du système doit prendre en considération la charge climatique maximale et la fiabilité du système tout en respectant les demandes environnementales et économiques.

Dans notre travail, nous avons essayé timidement mais avec intérêt de démontrer qu'il est primordial dans un tel projet, en l'occurrence la climatisation d'un bloc opératoire, d'abord

Etudier et prendre en considération nombres de facteurs, dont :

- La réglementation et ses contraintes,
- Les exigences du client demandeur, en l'occurrence l'hôpital,
- Le temps imparti ou délai...etc et tout cela sans mettre en péril la qualité du travail et le résultat visé.

On peut noter qu'une étude hydraulique, pour l'ensemble de la clinique, aurait été souhaitable mais cela nécessiterait une durée d'étude plus longue.

Nous devons aussi insister sur le fait que, en milieu hospitalier, la qualité de la filtration est une exigence de première importance, très précisément codifiée par la normalisation.

Les efforts consentis en vue de la réalisation de ce projet se sont transformés en joie puisque nous sommes arrivés aujourd'hui à la récolte du fruit de nos sacrifices.

Enfin, nous sommes conscients que notre travail ci -joint, reste une tentative ou une ébauche bien plus qu'une contribution, et qu'il serait souhaitable d'approfondir en ayant un peu plus de temps.

# **Bibliographie**

# Bibliographie

## **Livres :**

Manuel de CARRIER 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> partie : Calcul du bilan thermique, CARRIER international LTP, New York USA 1960.

MEMOTECH génie énergétique 2<sup>ème</sup> éditions : édition CASTEILLA, 25 rue Monge Paris.

Nouveau POHLMAN

Code du travail : Livre II : Dispositions applicables aux lieux de travail.

Lien vers le code du travail :

[http://media.xpair/emailing/2015\\_BUS/Ventil\\_0715/code\\_du\\_travail\\_aerotation.pdf](http://media.xpair/emailing/2015_BUS/Ventil_0715/code_du_travail_aerotation.pdf)

CSTB Th-U-2 : Fascicule 2/5 Conductivité thermique des matériaux. Version décembre 2000

Weber Terres d'Enduits : Enduits minéraux, Saint-Gobain.

## **Autres :**

Catalogue LG 2018/2019 (choix de système VRV)

## **Sites web :**

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

[www.energieplus-lesite.com](http://www.energieplus-lesite.com)

[www.caleffi.com](http://www.caleffi.com)

[www.lg.com](http://www.lg.com)

## **Annexes**

| Matériau                                                                                           | Masse volumique sèche r (kg/m3) | Conductivité thermique l (W/m.°C) | Capacité thermique c (J/kg.°C) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| <b>Pierres naturelles</b><br>(murs, revêtement de sol, revêtement muraux, ...)<br>Roches eruptives |                                 |                                   |                                |
| - Granites, porphyres .....                                                                        | 2300 a 2900                     | 3,0                               | 936                            |
| - Basaltes .....                                                                                   | 2700 a 3000                     | 1,6                               | 936                            |
| - Andesites, tufs volcaniques .....                                                                | 2000 a 2700                     | 1,1                               | 936                            |
| Roches sedimentaires                                                                               | 2000 a 2800                     | 2,6                               | 792                            |
| - Gres quartzeux .....                                                                             | 2000 a 2700                     | 1,9                               | 792                            |
| - Gres calcariferes .....                                                                          |                                 |                                   |                                |
| - Pierres calcaires                                                                                | 2350 a 2580                     | 2,4                               | 936                            |
| o Pierres dures .....                                                                              | 1840 a 2340                     | 1,4                               | 936                            |
| o Pierres fermes .....                                                                             | 1480 a 1830                     | 1,0                               | 936                            |
| o Pierres tendres .....                                                                            | ≤ 1470                          | 0,85                              | 936                            |
| o Pierres tres tendres .....                                                                       |                                 |                                   |                                |
| Roches metamorphiques                                                                              | ≥ 2590                          |                                   |                                |
| - Marbre .....                                                                                     | 2300 a 2900                     | 2,9                               | 936                            |
| - Gneiss .....                                                                                     | 2000 a 2800                     | 3,0                               | 936                            |
| - Schistes, ardoises .....                                                                         | 1300                            | 2,2                               | 936                            |
| - Sable sec                                                                                        | 1800                            | 0,6                               | 823                            |
| - Sable + gravillons                                                                               |                                 | 1,2                               | 792                            |
| <b>Béton de granulats légers</b><br>Beton caverneux de pouzzolane ou de Laitier expanse .....      | 1400 a 1600                     | 0,52                              | 1080                           |
|                                                                                                    | 1200 a 1400                     | 0,44                              | 1080                           |
| Beton d'argile expanse ou de schiste expanse                                                       | 1000 a 1200                     | 0,35                              | 1080                           |
| - Beton plein dit "de structure" .....                                                             | 1600 a 1800                     | 1,05                              | 1080                           |
|                                                                                                    | 1400 a 1600                     | 0,85                              | 1080                           |
|                                                                                                    | 1200 a 1400                     | 0,70                              | 1080                           |
|                                                                                                    | 1000 a 1200                     | 0,46                              | 1080                           |
|                                                                                                    | 800 a 1000                      | 0,33                              | 1080                           |
|                                                                                                    | 600 a 800                       | 0,25                              | 1080                           |
| <b>Bétons cellulaires</b><br>Beton autoclave dit beton "gaz" .....                                 | 750 a 850                       | 0,33                              | 1080                           |
|                                                                                                    | 650 a 750                       | 0,27                              | 1080                           |
|                                                                                                    | 550 a 650                       | 0,22                              | 1080                           |
|                                                                                                    | 450 a 550                       | 0,18                              | 1080                           |
|                                                                                                    | 350 a 450                       | 0,16                              | 1080                           |

|                                                                                                 |                                                                               |                                      |                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Beton "mousse" .....                                                                            | 200 a 600<br>600 a 1200<br>1200 a 1800                                        | 0,20<br>0,50<br>0,80                 | 1080<br>1080<br>1080            |
| <b>Mortier</b> (d'enduits et joints)                                                            |                                                                               |                                      |                                 |
| - Mortier batard .....                                                                          | 1900                                                                          | 1,15                                 | 1080                            |
| - Mortier de ciment .....                                                                       | 2200                                                                          | 1,4                                  | 1080                            |
| - Mortier de chaux .....                                                                        | 1800                                                                          | 0,87                                 | 1080                            |
| <b>Plâtres</b>                                                                                  |                                                                               |                                      |                                 |
| - Plâtre gache serre, ou tres serre<br>(plâtre de tres haute durete et<br>plâtre projete) ..... | 1100 a 1300                                                                   | 0,50                                 | 936                             |
| - Plâtre courant d'enduit interieur ....                                                        | 750 a 1000                                                                    | 0,35                                 | 936                             |
| - Carreaux de plâtre pleins .....                                                               | 900 a 1000                                                                    | 0,35                                 | 936                             |
| <b>Panneaux ou plaques de plâtre</b>                                                            |                                                                               | 0,35                                 | 792                             |
| - Panneaux courant .....                                                                        | 750 a 1000                                                                    | 0,30                                 | 792                             |
| - Panneaux a parement de<br>carton special feu .....                                            | 800 a 900                                                                     |                                      |                                 |
| <b>Brique silico-calcaire</b>                                                                   |                                                                               |                                      |                                 |
| - Brique pleine .....                                                                           | 1600 a 1800<br>1800 a 2000<br><sup>3</sup> 2000<br>1400 a 1600<br>1200 a 1400 | 0,80<br>1,00<br>1,10<br>0,70<br>0,56 | 936<br>936<br>936<br>936<br>936 |
| <b>Bois (parquets, revêtements<br/>muraux, etc.)</b>                                            |                                                                               |                                      |                                 |
| - Feuillus mi-lourds (chene, hetre dur,<br>fruitiers) .....                                     |                                                                               |                                      |                                 |
| - Resineux tres lourds .....                                                                    | 600 a 750                                                                     | 0,23                                 | 2160                            |
| - Feuillus legers (tilleul, erable,<br>chene, hetre tendre) .....                               | 600 a 750                                                                     | 0,23                                 | 2160                            |
| - Resineux mi-lourds (pin sylvestre,<br>pin maritime) .....                                     | 450 a 600                                                                     | 0,15                                 | 2160                            |
| - Resineux legers (sapin, epicea) ..... - Feuillus<br>tres legers (peupliers) .....             | 450 a 550<br>300 a 450<br>300 a 450                                           | 0,15<br>0,12<br>0,12                 | 2160<br>2160<br>2160            |
| <b>Liège</b>                                                                                    |                                                                               |                                      |                                 |
| - Comprime .....                                                                                | 500                                                                           | 0,10                                 | 1512                            |
| - Expanse pur .....                                                                             | 100 a 150                                                                     | 0,044                                | 1512                            |
| - en granulats en vrac .....                                                                    | 120                                                                           | 0,06                                 | 1512                            |

|                                                                                                                            |                                                               |                                      |                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Panneaux ou plaques de bois</b><br>- Fibragglos (panneaux de fibres de bois agglomeres avec un liant hydraulique) ..... | 450 a 550<br>350 a 450<br>250 a 350                           | 0,15<br>0,12<br>0,10                 | 1512<br>1512<br>1512                 |
| - Panneaux de fibres<br>comprimees .....                                                                                   | 650 a 750<br>550 a 640<br>450 a 540<br>360 a 440<br>200 a 250 | 0,17<br>0,14<br>0,12<br>0,10<br>0,07 | 1512<br>1512<br>1512<br>1512<br>1512 |
| - Panneaux tendres, dits aussi isolants.....<br>- Contreplaque                                                             | 450 a 550                                                     | 0,15                                 | 1512                                 |
| <b>Tuiles</b> .....                                                                                                        | 1900                                                          | 0,80                                 | 936                                  |
| <b>Verre</b> .....                                                                                                         | 2700                                                          | 1,10                                 | 792                                  |
| <b>Amiante ciment</b> .....                                                                                                | 1400 a 1800<br>1000 a 1400                                    | 0,95<br>0,65                         | 864<br>864                           |
| <b>Asphalte</b> .....                                                                                                      | 2100                                                          | 0,70                                 | 1044                                 |
| <b>Bitume</b><br>(cartons feutres et chapes souples<br>impregnees)                                                         | 1000 a 1100                                                   | 0,23                                 | 1656                                 |
| <b>Mastics</b> pour joints et garnitures<br>d'etancheite (silicones, polyurethannes,<br>acryliques) .....                  | 1000 a 1650                                                   | 0,40                                 | 1404                                 |
| <b>Terre</b> (pise, beton de terre stabilisee,<br>blocs de terre comprimee, terre cuite) .....                             | 1700 a 2000                                                   | 1,15                                 | 936                                  |
| <b>Revêtement de sol et muraux</b><br>Produits en ceramique<br>(carreaux et dalles) .....                                  | 1900                                                          | 1,0                                  | 936                                  |
| Carreaux de mosaique de<br>marbre dit "granito" .....                                                                      | 2200                                                          | 2,1                                  | 936                                  |
| <b>Polychlorures de vinyle</b><br>- compact .....                                                                          | 1300 a 1400                                                   | 0,2                                  | 1404                                 |
| - en mousse .....                                                                                                          | 25 a 48                                                       | 0,033                                | 1404                                 |
| <b>Matières synthétiques compactes</b><br>(caoutchoucs, formo-phenoliques,<br>polyesters, polyethylenes, polyamides) ..... | 900 a 1500                                                    | 0,40                                 | 1404                                 |
| <b>Polystyrène expansé</b><br>.....                                                                                        | 9 a 13<br>13 a 16<br>16 a 20<br>20 a 35                       | 0,046<br>0,043<br>0,040<br>0,038     | 1404<br>1404<br>1404<br>1404         |
| <b>Mousse de polyuréthane</b><br>.....                                                                                     | 30 a 40<br>40 a 60                                            | 0,031<br>0,034                       | 1404<br>1404                         |
| <b>Mousses formo-phénoliques</b>                                                                                           | 30 a 100                                                      | 0,050                                | 1404                                 |
| <b>Matières plastiques alvéolaires</b> .....                                                                               | 10 a 100                                                      | 0,060                                | 1404                                 |
| <b>Laines de roche</b> .....                                                                                               | 18 a 25<br>25 a 35                                            | 0,047<br>0,041                       | 612<br>612                           |

|                        |         |       |     |
|------------------------|---------|-------|-----|
|                        | 35 a 80 | 0,038 | 612 |
| <b>Laines de verre</b> | 7 a 12  | 0,044 | 612 |
| .....                  | 12 a 18 | 0,039 | 612 |
|                        | 18 a 25 | 0,037 | 612 |
|                        | 25 a 65 | 0,034 | 612 |
| <b>Métaux</b>          |         |       |     |
| Fer pur .....          | 7870    | 7870  | 468 |
| Acier .....            | 7780    | 7780  | 468 |
| Fonte .....            | 7500    | 7500  | 468 |
| Aluminium .....        | 2700    | 2700  | 936 |
| Cuivre .....           | 8930    | 8930  | 432 |
| Plomb .....            | 11340   | 11340 | 468 |
| Laiton .....           | 8400    | 8400  | 468 |

## Annexe 1 :

### Classification thermique « été » des communes d'Algérie

| Wilayas           | Communes                                                                                                                                                                                                                                  | Zones climatiques |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 01 Adrar          | Groupe de communes 1 : Tinerkouk, Ksar Kaddour, Ouled Aissa, Talmine, Gharouine, Tsabit, Sebaa, Bouda, Ouled Ahmed Timi, Fenoughil, Tamest, Zaouiet ,Kounta, Inzegmir, Sali, Reggane, Bordj Badji Mokhtar, Timiaouine                     | E                 |
|                   | Autres communes                                                                                                                                                                                                                           | F                 |
| 02 Chlef          | Groupe de communes 1 : Beni Haoua, Tenes, Oued Ghoussine, Sidi Abderrahmane, Breira, Sidi Akkacha, Abou El Hassen, El Marsa, Talassa, Tadjena, Moussadek, Taougrite, Dahra, Herenfa, Ain Merane                                           | A                 |
|                   | Autres communes                                                                                                                                                                                                                           | B1                |
| 03 Laghouat       | Groupe de communes 1 : Beidha, Gueltat Sidi Saad, Sidi Bouzid, Oued Morra, Ain Sidi Ali, Aflou, Sebgag, Oued Mzi, Brida, Hadj Mechri, El Ghicha, Taouila                                                                                  | D                 |
|                   | Groupe de communes 2 : Tadjemout, Sidi Makhlouf, El Assafia, Laghouat, Ain Madhi, Ksar El Hirane, Mekhareg, Kheneg, Tadjrouna, El Haouaita, Hassi Rmel                                                                                    | E                 |
| 04 Oum el bouaghi | Groupe de communes 1 : Ain Kercha, El Harmilia, Bir Chouhada, Oum El Bouaghi, Ouled Zouai, El Zorg, Behir Chergui, Ain Zitoun, El Fedjoudj Boughrara Saoudi, Ain Beida, Rehia, Fkirina, Meskiana, El Djezia, Oued Nini, Dhalaa, El Belala | C                 |
|                   | Groupe de communes 2 : Sigus , Ouled Hamla, El Amiria, Ksar Sbahi, Ain Mlila, Ouled Gacem, Ain Diss, Ain Babouche, Ain Fakroun, Souk Naamane, Berriche, Hanchir Toumghani                                                                 | B                 |
| 05 Batna          | Groupe de communes 1 : Mdoukal                                                                                                                                                                                                            | E                 |
|                   | Groupe de communes 2 : Djezzar, Boumaguer, Metkaouak, Ouled Ammar, Sefiane, Barika, Tilatou, Seggana, Bitam, Maafa, Chir, Kimmel, Menaa, Tigharghar, Ghassira                                                                             | D                 |
|                   | Autres coummunes                                                                                                                                                                                                                          | C                 |
| 06 Bejaia         | Groupes de coummunes1 : Ait R_Zine, boudjellil, Ighil Ali                                                                                                                                                                                 | B                 |
|                   | Autres coummunes                                                                                                                                                                                                                          | A                 |
| 07 Biskra         | Groupe de communes 1 :EL Kantara ,Ain Zaatout, Djemorah, M_Ziraa,M_Chouneche, Branis, chetma ,Khangat Sidi Nadji, Zeribet EL Oued,El Feidh                                                                                                | D                 |
|                   | Autres communes                                                                                                                                                                                                                           | E                 |

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 08 Bechar      | Groupe de communes 1 : Beni Ounif, Mougheul, Bechar, Lahmar, Kenadsa, Meridja, Taghit, Erg Ferradj, Abdla                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | D  |
|                | Autres communes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | E  |
| 09 Blida       | Toutes Les Communes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | A  |
| 10 Bouira      | Groupe de communes 1 : Bouderbala, Lakhdaria, Kadiria, Boukram, Aomar, Maala, Guerrouma, Zbarbar, Djrbahia, Saharidj, Aghblalou, El Mokrani, Ait Laaziz, Bechloul, Haizer, El Asnam, El Adjiba, Taghzout, Ain Turk, Souk El Khemis, Ain Bessam, Bouira, Ain El Hadjar, Chorfa, Mchedallah, El Khabouzia, Ain Laloui, Bir Ghablou                                                                                 | A  |
|                | Groupe de communes 2 : Taguedit, Hadjera Zerga                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | C  |
|                | Toutes Les Communes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | B  |
| 11 Tamanrasset | Groupe de communes 1 : Tazrouk, Tamanrasset                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | E1 |
|                | Groupe de communes 2 : Idles, In Amguel, Abalessa, Tin Zaouatine, In Guezzam, Fouggarat Ez Zouaia, In Salah, In Ghar                                                                                                                                                                                                                                                                                             | E  |
| 12 Tebessa     | Groupe de communes 1 : El Aouinet, El Meridj, Boukhadra, Morsot, Ain Zerga, Bir Dheheb, Boulhaf Dyr, El Kouif, Gourigueur, Hammamet, Bir Mokadem, Tebessa, Bekkaria, Bedjene, El Ma Labiod, Cheria, El Mazeraa, El Houidjbet, El Ogla El Malha, El Ogla, Oum Ali, Thlidjene, Stah Guentis, Safsaf El Ouesra, Bir El Ater                                                                                         | C  |
|                | Groupe de communes 2 : El Ouenza                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | B  |
|                | Groupe de communes 3 : Ferkane, Negrine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | D  |
| 13 Tlemcen     | Groupe de communes 1 : Beni Khellad, Beni Khellad, Remchi, Sebaa Chioukh, El Fehoul, Honaine, Bensekrane, Beni Ouarsous, Dar Yaghmourassene, Ain Youcef, Ghazaouet, Nedroma, Mersa Ben Mhidi, Ain Kebira, Souahlia, Souk Thlata, Amieur, Msirda Fouaga, Tienet, Fellaoucene, Zenata, Djebala, Bab El Assa, Ain Fetah, Henaya, Ouled Riah, Hammam Boughrara, Souani, Abra, Maghnia                                | A  |
|                | Autres communes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | B  |
| 14 Tiaret      | Groupe De Communes 1 : Meghila, Oued Lilli, Sidi Hosni, Sebaine, Hamadia, Guertoufa, Dahmouni, Mahdia, Rechaiga, Tagdemt, Ain Zarit, Tiaret, Ain Bouchekif, Nadorah, Serghine, Sidi Bakhti, Sougueur, Ksar Chellala, Sidi Abdelghani, Mellakou, Medroussa, Zmalet Emir Abdelkader, Tousnina, Frenda, Faidja, Naima, Ain Deheb, Medrissa, Chehaima, Ain Kermes, Djebilet Rosfa, Madna, Sidi Abderrahmane, Bougara | C  |
|                | Groupe de communes 2 : Sebt, Tidda, Sidi Ali Mellal, Rahouia, Djillali Ben Amar, Machraa Sfa, Takhmaret, Ain El Hadid                                                                                                                                                                                                                                                                                            | H  |
| 15 Tizi-Ouzou  | Toutes les communes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | A  |

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 16 Alger          | Toutes les communes                                                                                                                                                                                                                                                                               | A  |
| 17 Djelfa         | Groupe de communes 1 : Benhar, Ain Ouessara, Birine, Ain Fekka, El Khemis, Hassi Fdoul, Had Sahary, Sidi Laadjel, Bouira Lahdab, Guernini, Hassi El Euch, Sidi Baizid, Hassi Bahbah, Zaafrane, Dar Chioukh, Ain Maabed, El Gueddid, Djelfa, Charef, Beni Yagoub, El Idrissia, Douis, Ain Chouhada | C  |
|                   | Groupe de communes 2 : Mliliha, Mouadjear, Feidh El Botma, Ain El Ibel, Zakkar, Tadmit, Deldoul, Selmana, Messaad, Sed Rahal                                                                                                                                                                      | D  |
|                   | Groupe de communes 3 : Amoura, Oum Laadham, Guettara                                                                                                                                                                                                                                              | E  |
| 18 Jijel          | Toutes les communes                                                                                                                                                                                                                                                                               | A  |
| 19 Sétif          | Groupe de communes 1 : Babor, Ait Tizi, Mzada, Ain Sebt, Serdj El Ghoul, Oued El Bared, Beni Mouhli, Bouandas, Beni Aziz, Bousselam, Beni Chebana, Tala Ifacene, Beni Ouartilane, Tizi Nbechar, Draa Kebila                                                                                       | A  |
|                   | Groupe de communes 2 : Ain Lahdjar, Tella, Taya, Ain Oulmane, Ouled Sidi Ahmed, Beidha Bordj, Ain Azal, Salah Bey, Ouled Tebben, Rosfa, Boutaleb, Hamma                                                                                                                                           | C  |
|                   | Autres communes                                                                                                                                                                                                                                                                                   | B  |
| 20 Saida          | Groupe de communes 1 : Maamora, Sidi Ahmed, Ain Skhouana                                                                                                                                                                                                                                          | C  |
|                   | Groupe de communes 2 : Hounet, Ouled Brahim, Sidi Boubekeur, Ain Soltane, Tircine, Sidi Amar, Ouled Khaled, Youb, Doui Thabet, El Hassasna, Saida, Ain El Hadjar, Moulay Larbi                                                                                                                    | B  |
| 21 Skikda         | Groupe de communes 1 : Zerdezas, Ouled Hebaba                                                                                                                                                                                                                                                     | B  |
|                   | Autres communes                                                                                                                                                                                                                                                                                   | A  |
| 22 Sidi bel abbes | Groupe de communes 1 : Makedra, Ain El Berd, Ain Thridd, Sidi Hamadouche, Tessala, Sehala Thaoura                                                                                                                                                                                                 | A  |
|                   | Groupe de communes 2 : Marhoum                                                                                                                                                                                                                                                                    | C  |
|                   | Autres communes                                                                                                                                                                                                                                                                                   | B  |
| 23 Annaba         | Toutes les communes                                                                                                                                                                                                                                                                               | A  |
| 24 Guelma         | Groupe de communes 1 : TAMLOUKA                                                                                                                                                                                                                                                                   | B  |
|                   | Autres communes                                                                                                                                                                                                                                                                                   | B2 |
| 25 Constantine    | Toutes les communes                                                                                                                                                                                                                                                                               | B  |

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 26 Medea      | Groupe de communes 1 : Deux Bassins, Aissaouia, Tablat, Mihoub, Maghraoua, Baata, El Hamdania, Mezrenna, El Omaria, Tamesguida, Bouchrahil, El Azizia, Sidi Naamane, Medea, Ouzera, El Guelbelkebir, Sidi Errabia, Ouamri, Draa Essmar, Oued Harbil, Sedraia, Beni Slimane, Ouled Brahim, Bouskene, Tizi Mahdi, Ben Chicao, Hannacha, Berrouaghia, Bouaichoune, Si Mahdjoub, Khams Djouamaa, Ouled Deide, Ouled Bouachra | A |
|               | Groupe de communes 2 : Ain Boucif, Ouled Maaref, Ain Ouksir, Sidi Damed, Boughzoul, Bouaiche, Chahbounia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | C |
|               | Autres communes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | B |
| 27 Mostaganem | Toutes les communes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | A |
| 28 Msila      | Groupe de communes 1 : Hammam Dhalaa, Beni Ilmene, Ouenougha, Sidi Aissa, Sidi Hadjeres, Tarmount, Maadid, Bouti Sayeh, Khetouti Sed El Djir, Ouled Mansour, Mtarfa, Deahna, Ain El Hadjel, Sidi Ameer, Medjedel                                                                                                                                                                                                         | C |
|               | Groupe de communes 2 : Msila, Ouled Addi Guebala, Ouled Derradj, Magra, Berhoum, Soumaa, Ouled Madhi, Belaiba, Chellal, Ain Khadra, Benzouh, Mcif, Maarif, Ouled Sidi Brahim, Khoubana, Tamsa, Bousaada, Menaa, El Hamri, Djebel Messaad, Slim, Bir Fodda                                                                                                                                                                | D |
|               | Groupe de communes 3 : El Houamed, Oultene, Zerzour, Djebel Messaad, Ben Srou, Ouled Slimane, Mohamed Boudiaf, Sidi Mhamed, Ain El Melh, Ain Fares, Ain Errich                                                                                                                                                                                                                                                           | E |
| 29 Mascara    | Groupe de communes 1 : Moctadou, El Ghomri, Sidi Abdelmoumene, Alaimia, Ras El Ain Amirouche, Mohammadia, Oggaz, Bouhenni, Sig, Zahana, Chorfa, El Gaada                                                                                                                                                                                                                                                                 | A |
|               | Autres communes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | B |
| 30 Ouargla    | Groupe de communes 1 : Taibet, Mnaguer, El Allia, Sidi Slimane, Megarine, Touggourt, Zaouia El Abidia, Tebesbest, Nezla, Tamacine, Balidat Ameer, El Hadjira, Ngoussa, Ouargla, El Borma, Rouissat, Sidi Khouiled                                                                                                                                                                                                        | E |
|               | Groupe de communes 2 : Hassi Messaoud, Benaceur, Hassi Ben Abdellah, Ain Beida                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | F |
| 31 Oran       | Toutes les communes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | A |
| 32 El Bayadh  | Groupe de communes 1 : El Kheither, Rogassa, Bougtoub, Cheguig, Kef El Ahmar, Stitten, Sidi Ameer, Sidi Tifour, Hadj Mechri Boualem, Sidi Slimane, El Bayadh, Tousmouline, El Mehara, Ghassoul, Krakda, Ain El Orak, Arbaouat, Chellala                                                                                                                                                                                  | C |
|               | Groupe de communes 2 : Brezina, El Abiodh Sidi Cheikh, El Bnoud                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | D |

|                       |                                                                                                                                                                                                                          |    |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 33 Illizi             | Groupe de communes 1 : Bordj El Haoues, Djanet                                                                                                                                                                           | E1 |
|                       | Groupe de communes 2 : Debdeb, In Amenas                                                                                                                                                                                 | D  |
|                       | Groupe de communes 3 : Bordj Omar Driss, Illizi                                                                                                                                                                          | E  |
| 34 Bordj bou arreridj | Groupe de communes 1 : Ras El Oued , El Euch, Rabta, Bordj Ghdir, Ouled Brahem, Taglait, Ghilassa                                                                                                                        | C  |
|                       | Autres communes                                                                                                                                                                                                          | B  |
| 35 Boumerdes          | Toutes les communes                                                                                                                                                                                                      | A  |
| 36 El-tarf            | Groupe de communes 1 : El Kala, Souarekh, Berrihane, Raml Souk, Ain El Assel, Echatt, Bouteldja, Ben Mhidi, El-Tarf, Lac Des Oiseaux, Besbes, Chbaita Mokhtar, Bougous, Chefia, Zerizer, Zitouna, Drean, Asfour, Chihani | A  |
|                       | Groupe de communes 2 : Ain Kerma, Hammam Beni Salah, Bouhadjar, Oued Zitoun                                                                                                                                              | B  |
| 37 Tindouf            | Toutes les communes                                                                                                                                                                                                      | E  |
| 38 Tissemsilt         | Groupe de communes 1 : Khemisti, Layoune, Ouled Bessem, Ammari, Tissemsilt, Maacem                                                                                                                                       | C  |
|                       | Autres communes                                                                                                                                                                                                          | B  |
| 39 El oued            | Groupe de communes 1 : Beni Guecha                                                                                                                                                                                       | D  |
|                       | Autres communes                                                                                                                                                                                                          | E  |
| 40 Khenchela          | Groupe de communes 1 : Remila, Mtoussa, Baghai, Ain Touila, El Hamma, Taouzianat, Chelia, Ensigha, Tamza, Yabous, Khenchela, El Mahmal, Bouhmama, Ouled Rechache, Msara, Khirane, Cherchar, Kais                         | C  |
|                       | Groupe de communes 2 : Babar, Djellal, El Oueldja                                                                                                                                                                        | D  |
| 41 Souk-ahras         | Groupe de communes 1 : Ain Soltane                                                                                                                                                                                       | D  |
|                       | Autres communes                                                                                                                                                                                                          | B  |
| 42 Tipaza             | Toutes les communes                                                                                                                                                                                                      | A  |
| 43 Mila               | Groupe de communes 1 : Hamala, Tassala Lemtai, Cheraga, Amira Arres, Terrai Bainem, Tassadane Haddada, Minar Zarza, Rouached                                                                                             | A  |
|                       | Autres communes                                                                                                                                                                                                          | B  |

|                   |                                                                                                                                                                                                                                               |   |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 44 Ain-defla      | Groupe de communes 1 : Arib, Ben Allal, El Amra, Mekhatria, Hammam Righa, Ain Torki, Boumedfaa, Ain Benian, Miliana, El Hoceinia, Djendel, Sidi Lakhdar, Khemis Miliana, Ain Soltane, Bir Ouled Khelifa, Oued Chorfa, Ain Lechiakh, Barbouche | A |
|                   | Groupe de communes 2 : Bordj Emir Khaled, Oued Djemaa, Tarik Ibn Ziad, El Hassania, Bathia                                                                                                                                                    | B |
|                   | Autres communes                                                                                                                                                                                                                               | D |
| 45 Naama          | Groupe de communes 1 : El Biod, Mekmen Ben Amar, Kasdir, Mechria, Ain Ben Khelil, Naama, Asla, Sfissifa, Tiout, Ain Sefra, Djenien Bourezg                                                                                                    | C |
|                   | Groupe de communes 2 : Moghrar                                                                                                                                                                                                                | D |
| 46 Ain-temouchent | Groupe de communes 1 : Ougbellil                                                                                                                                                                                                              | B |
|                   | Autres communes                                                                                                                                                                                                                               | A |
| 47 Ghardaia       | Groupe de communes 1 : Berriane, El Guerrara, Dhayet Bendahoua, Metlili, Sebseb, Ghardaia, Bounoura, El Atteuf, Zelfana, El Mansoura, Hassi Lefhal, Golea                                                                                     | E |
|                   | Groupe de communes 2 : Hassi El Garaa                                                                                                                                                                                                         | F |
| 48 Relizane       | Groupe de communes 1 : Sidi Mhamed Ben Ali, Mediouna, Mazouna, Beni Zentis, El Guettar, El Hamri, Ouled Sidi Mihoub, Sidi Khettab                                                                                                             | A |
|                   | Groupe de communes 2 : Souk El Had                                                                                                                                                                                                            | D |
|                   | Autres communes                                                                                                                                                                                                                               | B |

## Annexe 2.a :

| EST                     | msurf ≥ 700<br>[Kg/m²] |         |         | φ       | -90     |         |        |         |         |         |         |         |         |
|-------------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Heure<br>solaire        | 6                      | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12     | 13      | 14      | 15      | 16      | 17      | 18      |
| $\Delta T_e$ [°C]       | -5,552                 | -4,850  | 4,130   | 2,887   | 1,604   | 0,450   | 0,804  | 2,027   | 2,600   | 2,600   | 2,600   | 2,198   | 1,574   |
| $\alpha$                | 0,7                    | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7    | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7     |
| $It_b$ [W/m²]           | 516                    | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     | 516    | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     |
| $It_b(40)$ [W/m²]       | 516                    | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     | 516    | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     | 516     |
| $\Delta t_{es}(t)$ [°C] | 0,5                    | 0,5     | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0,5     | 1,1     | 1,7     | 2,2     |
| $\Delta t_{em}(t)$ [°C] | 6,1                    | 5,5     | 5,5     | 5       | 4,4     | 5       | 5,5    | 8,3     | 10      | 10,6    | 10      | 9,4     | 8,9     |
| $\Delta t_e(t)$ [°C]    | -0,696                 | -0,461  | 0,148   | 1,002   | 1,818   | 3,439   | 5,082  | 8,483   | 10,378  | 10,956  | 10,622  | 9,887   | 8,985   |
| $Id_b$ [W/m²]           | 47,975                 | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975 | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975  |
| $It$ [W/m²]             | 549,87                 | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87 | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87  |
| $Id$ [W/m²]             | 51,12                  | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12  | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12   |
| $\beta$ (degrés)        | 11,917                 | 23,917  | 36      | 47,083  | 59,083  | 69,166  | 73,249 | 69,166  | 59,083  | 47,083  | 36      | 23,917  | 11,917  |
| $\Phi$ (degrés)         | -106,083               | -98,083 | -89,249 | -79,249 | -65,415 | -42,415 | 0      | 42,415  | 65,415  | 79,249  | 89,249  | 98,083  | 106,083 |
| $\Psi$ (degrés)         | -16,083                | -8,083  | 0,751   | 10,751  | 24,585  | 47,585  | 90     | 132,415 | 155,415 | 169,249 | 179,249 | 188,083 | 196,083 |

## Annexe 2.b :

| OUEST                   | msurf ≥ 700<br>[Kg/m²] |          |          | φ        | 90       |          |        |         |         |         |        |         |         |
|-------------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
| Heure<br>solaire        | 6                      | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12     | 13      | 14      | 15      | 16     | 17      | 18      |
| $\Delta T_e$ [°C]       | -5,5515                | -4,85    | -4,13    | 2,8865   | -1,604   | -0,45    | 0,8045 | 2,02715 | 2,6     | 2,6     | 2,6    | 2,19815 | 1,574   |
| $\alpha$                | 0,7                    | 0,7      | 0,7      | 0,7      | 0,7      | 0,7      | 0,7    | 0,7     | 0,7     | 0,7     | 0,7    | 0,7     | 0,7     |
| $It_b$ [W/m²]           | 516                    | 516      | 516      | 516      | 516      | 516      | 516    | 516     | 516     | 516     | 516    | 516     | 516     |
| $It_b(40)$ [W/m²]       | 516                    | 516      | 516      | 516      | 516      | 516      | 516    | 516     | 516     | 516     | 516    | 516     | 516     |
| $\Delta t_{es}(t)$ [°C] | 0,5                    | 0,5      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0      | 0       | 0       | 0,5     | 1,1    | 1,7     | 2,2     |
| $\Delta t_{em}(t)$ [°C] | 6,7                    | 6,1      | 5,5      | 5        | 4,4      | 4,4      | 4,4    | 5       | 5,5     | 5,5     | 5,5    | 6,1     | 6,7     |
| $\Delta t_e(t)$ [°C]    | -0,2293                | 0,0056   | 0,1478   | 1,0024   | 1,8182   | 2,9722   | 4,2267 | 5,9160  | 6,8778  | 6,9889  | 7,1222 | 7,3204  | 7,2740  |
| $Id_b$ [W/m²]           | 47,975                 | 47,975   | 47,975   | 47,975   | 47,975   | 47,975   | 47,975 | 47,975  | 47,975  | 47,975  | 47,975 | 47,975  | 47,975  |
| $It$ [W/m²]             | 549,87                 | 549,87   | 549,87   | 549,87   | 549,87   | 549,87   | 549,87 | 549,87  | 549,87  | 549,87  | 549,87 | 549,87  | 549,87  |
| $Id$ [W/m²]             | 51,12                  | 51,12    | 51,12    | 51,12    | 51,12    | 51,12    | 51,12  | 51,12   | 51,12   | 51,12   | 51,12  | 51,12   | 51,12   |
| $\beta$ (degrés)        | 11,917                 | 23,917   | 36       | 47,083   | 59,083   | 69,166   | 73,249 | 69,166  | 59,083  | 47,083  | 36     | 23,917  | 11,917  |
| $\Phi$ (degrés)         | -106,083               | -98,083  | -89,249  | -79,249  | -65,415  | -42,415  | 0      | 42,415  | 65,415  | 79,249  | 89,249 | 98,083  | 106,083 |
| $\Psi$ (degrés)         | -196,083               | -188,083 | -179,249 | -169,249 | -155,415 | -132,415 | -90    | -47,585 | -24,585 | -10,751 | -0,751 | 8,083   | 16,083  |

### Annexe 3 :

| Différence équivalente de température $\Delta t_{es}(t)$ ou $\Delta t_{em}(t)$ (en °C) - Murs ensoleillés ou à l'ombre |                                 |                     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|
| Orientation                                                                                                            | $M_{surf}$<br>Kg/m <sup>2</sup> | Temps Solaire Vrais |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |
|                                                                                                                        |                                 | 6                   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14   | 15   | 16   | 17   | 18  |
| NE                                                                                                                     | ≥ 700                           | 2,8                 | 2,8 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 5,5 | 7,8  | 8,9  | 7,8  | 6,7  | 5,5 |
| E                                                                                                                      | ≥ 700                           | 6,1                 | 5,5 | 5,5 | 5,0 | 4,4 | 5,0 | 5,5 | 8,3 | 10,0 | 10,6 | 10,0 | 9,4  | 8,9 |
| SE                                                                                                                     | ≥ 700                           | 5,0                 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 3,9 | 3,3 | 6,1 | 7,8  | 8,3  | 8,9  | 10,0 | 8,9 |
| S                                                                                                                      | ≥ 700                           | 3,9                 | 3,3 | 3,3 | 2,8 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2  | 3,9  | 5,5  | 7,2  | 7,8 |
| SO                                                                                                                     | ≥ 700                           | 4,4                 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 3,9 | 3,3 | 3,3 | 3,3  | 3,9  | 4,4  | 5,0  | 5,5 |
| O                                                                                                                      | ≥ 700                           | 6,7                 | 6,1 | 5,5 | 5,0 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 5,0 | 5,5  | 5,5  | 5,5  | 6,1  | 6,7 |
| NO                                                                                                                     | ≥ 700                           | 4,4                 | 3,9 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3  | 3,3  | 3,3  | 3,9  | 4,4 |
| N<br>(à l'ombre)                                                                                                       | ≥ 700                           | 0,5                 | 0,5 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0,5  | 1,1  | 1,7  | 2,2 |

| Différence équivalente de température $\Delta t_{es}(t)$ ou $\Delta t_{em}(t)$ (en °C) - Toits ensoleillés ou à l'ombre |                                 |                     |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Orientation                                                                                                             | $M_{surf}$<br>Kg/m <sup>2</sup> | Temps Solaire Vrais |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                         |                                 | 6                   | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12  | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   |
| Ensoleillé                                                                                                              | ≥ 400                           | 7,2                 | 6,7  | 6,1  | 6,1  | 6,7  | 7,2  | 8,9 | 12,2 | 14,4 | 15,6 | 17,8 | 19,4 | 20,6 |
| À l'ombre                                                                                                               | ≥ 300                           | -1,7                | -1,7 | -1,1 | -1,1 | -1,1 | -0,5 | 0   | 1,1  | 2,2  | 3,3  | 4,4  | 5,0  | 5,5  |

| Valeurs de $C_{\Delta te}$ (en °C)       |                                      |        |        |        |        |
|------------------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $\Delta TS_{\max} = TS_{b,e} - TS_{b,i}$ | Écarts diurnes de base $E_b$ (en °C) |        |        |        |        |
|                                          | 7                                    | 8      | 9      | 10     | 11     |
| -4                                       | -10,30                               | -10,80 | -11,27 | -11,80 | -12,20 |
| -0                                       | -6,10                                | -6,60  | -7,26  | -7,60  | -8,00  |
| 2                                        | -4,20                                | -4,70  | -5,25  | -5,60  | -6,10  |
| 4                                        | -2,20                                | -2,70  | -3,25  | -3,60  | -4,10  |
| 6                                        | -0,30                                | -0,80  | -1,24  | -1,70  | -2,20  |
| 8                                        | 1,70                                 | 1,20   | 0,76   | 0,30   | 0,00   |

| Type de vitrage                                                     | Épaisseur nominale<br>(mm) | Épaisseur (mm) |           |            | FS   |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------|-----------|------------|------|
|                                                                     |                            | Glace int      | Glace ext | Lame d'air |      |
| Verre clair                                                         | 11                         | 3              | 3         | 5          | 0,90 |
| Glace clair                                                         | 18                         | 6              | 6         | 6          | 0,85 |
|                                                                     | 20                         | 6              | 6         | 8          | 0,85 |
|                                                                     | 24                         | 6              | 6         | 12         | 0,85 |
|                                                                     | 24                         | 6              | 8         | 10         | 0,82 |
|                                                                     | 32                         | 8              | 10        | 14         | 0,80 |
| Glace intérieure claire<br>et glace absorbante<br>extérieure :      |                            |                |           |            |      |
| grise                                                               | 18                         | 6              | 6         | 6          | 0,59 |
|                                                                     | 24                         | 8              | 8         | 8          | 0,52 |
|                                                                     | 32                         | 8              | 10        | 14         | 0,48 |
| vert                                                                | 18                         | 6              | 6         | 6          | 0,56 |
|                                                                     | 24                         | 8              | 8         | 8          | 0,51 |
|                                                                     | 32                         | 8              | 10        | 14         | 0,44 |
| bronze                                                              | 18                         | 6              | 6         | 6          | 0,58 |
|                                                                     | 24                         | 8              | 8         | 8          | 0,52 |
|                                                                     | 32                         | 8              | 10        | 14         | 0,47 |
|                                                                     |                            |                |           |            |      |
| Glace intérieure claire<br>et glace réfléchissante<br>extérieure :  |                            |                |           |            |      |
| claire                                                              | 18                         | 6              | 6         | 6          | 0,64 |
|                                                                     | 24                         | 8              | 8         | 8          | 0,60 |
|                                                                     | 32                         | 8              | 10        | 14         | 0,60 |
| bronze                                                              | 18                         | 6              | 6         | 6          | 0,44 |
|                                                                     | 24                         | 8              | 8         | 8          | 0,37 |
|                                                                     | 32                         | 8              | 10        | 14         | 0,34 |
| grise                                                               | 18                         | 6              | 6         | 6          | 0,45 |
|                                                                     | 24                         | 8              | 8         | 8          | 0,38 |
|                                                                     | 32                         | 8              | 10        | 14         | 0,35 |
| vert                                                                | 18                         | 6              | 6         | 6          | 0,43 |
|                                                                     | 24                         | 8              | 8         | 8          | 0,37 |
|                                                                     | 32                         | 8              | 10        | 14         | 0,35 |
|                                                                     |                            |                |           |            |      |
| Glace claire extérieur<br>et glace réfléchissante<br>intérieure     | 18                         | 6              | 6         | 6          | 0,30 |
| Glace absorbante extérieur<br>et glace réfléchissante<br>intérieure | 18                         | 6              | 6         | 6          | 0,22 |
| Glace réfléchissante<br>extérieur et intérieure                     | 18                         | 6              | 6         | 6          | 0,13 |