

**REPUBLIQUE DU SENEGAL**  
**UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP**



**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE**

Centre de Thiès

Département Génie Mécanique

**Projet de fin d'études**

En vue de l'obtention du **Diplôme d'Ingénieur de Conception**

---

---

**Titre : ECONOMIE D' ENERGIE POUR UN BATIMENT**

**ADMINISTRATIF :**

**ETUDE SUR L'ENVELOPPE ET L'ECLAIRAGE**

---

---

**Présenté et soutenu par :**

Ousmane DIEYE

&

Ousmane SOW

**Directeur : Dr Youssouf MANDIANG**

**Codirecteur : Dr Salif GAYE**

**Codirecteur : M Souleymane DEME**

Année : 2004 - 2005

## SOMMAIRE

Le but de ce travail est d'étudier l'économie d'énergie sur l'enveloppe et l'éclairage pour un bâtiment administratif à usage de bureaux.

Ce projet est effectué sur un nouveau bâtiment de la SATREC et contribue à un vaste programme d'économie d'énergie qui préoccupe de plus en plus le secteur privé.

La conception des enveloppes des bâtiments s'intègre dans une démarche de maîtrise de l'énergie et constitue de ce fait un enjeu primordial. Elle nécessite la connaissance des performances énergétiques des composants de l'enveloppe. L'étude d'un modèle de paroi standard permettra de voir l'influence d'un composant isolant (accessible sur le marché de la sous région) sur les échanges entre l'intérieur du bâtiment et l'environnement extérieur. Une étude du milieu définira le système d'isolation à adopter.

Quant à l'éclairage, elle constitue, mis à part la charge de climatisation, la plus grande source de consommation d'énergie électrique des bâtiments administratifs. Dans les zones ensoleillées, la combinaison de l'éclairage artificiel bien étudié avec des lampes fluorescents et la lumière solaire permettront d'atteindre des facteurs de réduction sur la consommation.

L'utilisation composant isolant (polystyrène, pâtre) sur les paroi a permis d'avoir un gain de flux considérable. L'économie réalisée annuellement sur l'éclairage en tenant compte de l'éclairage naturel avoisine les trois millions de francs cfa qui n'inclut pas l'économie d'énergie sur le flux de chaleur transmis par les luminaires.

## REMERCIEMENTS

Nous aimerions exprimer notre entière reconnaissance à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce projet : les autorités qui ont accepté de nous encadrer, le chef de département génie mécanique Monsieur Youssouf MANDIANG notre directeur de projet, Dr Salif GAYE et l'ingénieur Souleyemane DEME les co-directeurs, qui ont grandement facilité notre travail.

Nous voudrions enfin remercier Monsieur Banda NDOYE, Professeur de climatisation pour sa disponibilité. Monsieur B. DIENG pour les nombreuses informations qu'il a acceptées de nous livrer.

## DÉDICACES

Ousmane DIEYE dédie ce travail à :

- Mon père Cheikh pour son soutien et ses conseils ;
- Ma mère pour son affection et ses prières. Ma source de motivation ;
- Mon oncle et ma tante "Youm" pour leurs conseils et encouragements ;
- Mes frères, mes sœurs, mes cousins et ma cousine
- Mes amis ;
- Mes camarades de promotion, et plus particulièrement à Ousmanne SOW pour son ingéniosité durant toutes les étapes du projet.

Ousmane SOW dédie ce travail à :

- Mes parents pour leur soutien, conseil et affection
- Ma tante Coumba SOW
- Mon frère Moussa SOW qui n'a ménagé aucun effort pour la réussite de mes études
- Mes frères et sœurs pour leur conseil et encouragements
- Mes tuteurs à Saint Louis
- Mes amis, mes camarades
- A Ousmane DIEYE pour sa patience et sa compréhension durant toutes les étapes de ce projet.
- A tout ce qui me sont chers

## **TABLE DES MATIERES**

|                                                                         |        |
|-------------------------------------------------------------------------|--------|
| LISTE DES TABLEAUX.....                                                 | IV     |
| LISTE DES FIGURES.....                                                  | VI     |
| NOMENCLATURE.....                                                       | VIII   |
| <br>INTRODUCTION.....                                                   | <br>1  |
| <br>I- GENERALITES SUR LES ECHANGES THERMIQUES.....                     | <br>3  |
| I.1- La conduction.....                                                 | 3      |
| I.2- La convection .....                                                | 4      |
| I.3- Le rayonnement.....                                                | 7      |
| a) Le corps noir.....                                                   | 8      |
| b) Corps réels .....                                                    | 9      |
| c) Puissance échangée entre deux corps.....                             | 9      |
| I.4- La résistance thermique globale .....                              | 9      |
| <br>II- TRANSFERT DANS LE BATIMENT.....                                 | <br>11 |
| II.1- Description structurelle de l'enveloppe.....                      | 11     |
| II.1.1- Etude de la structure de l'enveloppe .....                      | 11     |
| II.1.2- Les enveloppes dissociées .....                                 | 11     |
| a) Matériaux utilisés.....                                              | 11     |
| b) Les éléments constitutifs d'une ossature .....                       | 13     |
| II.1.3- Les enveloppes intégrées.....                                   | 13     |
| II.2- Les transferts de chaleur dans le bâtiment .....                  | 13     |
| II.2.1- Transfert au niveau des parois verticales.....                  | 14     |
| II.2.1.a- Apport par convection et conduction.....                      | 14     |
| II.2.1.b- Apport rayonnement solaire.....                               | 15     |
| II.2.2- Transfert au niveau du vitrage.....                             | 17     |
| II.2.2.a- Apport par transmission à travers les vitrages.....           | 18     |
| II.2.2.b- Transfert par rayonnement solaire à travers les vitrages..... | 18     |
| <br>III- ISOLATION THERMIQUE.....                                       | <br>20 |
| III.1- Isolation de parois opaques verticales.....                      | 20     |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.1.1- Isolation par l'intérieur.....                                           | 20 |
| III.1.2- Isolation intégrée à la paroi .....                                      | 22 |
| III.1.3- Isolation par l'extérieur.....                                           | 22 |
| III.1.4- Isolation sur les deux faces de la paroi.....                            | 23 |
| III.1.5- Choix du système d'isolation.....                                        | 24 |
| III.1.6- Isolants .....                                                           | 25 |
| a) Polystyrène .....                                                              | 25 |
| b) Le plâtre .....                                                                | 26 |
| III.1.7-Choix de l'isolant.....                                                   | 27 |
| III.2- Isolation des vitrages .....                                               | 35 |
| <br>IV-ECONOMIE D'ENERGIE SUR L'ECLAIRAGE.....                                    | 36 |
| IV.1- L'éclairage naturel.....                                                    | 38 |
| IV.1.1- Disponibilité de la lumière du jour.....                                  | 38 |
| IV.1.2- La détermination de l'apport de l'éclairage naturel dans le bâtiment..... | 41 |
| IV.1. 2.1- Facteur de lumière du jour.....                                        | 42 |
| IV.1.2.1.1- Sous sol.....                                                         | 48 |
| IV.1.2.1.2- Le rez de chaussée .....                                              | 48 |
| IV.1.2.1.3- L'étage 1.....                                                        | 49 |
| IV.1.2.1.4- Etage 2.....                                                          | 50 |
| IV.2- Eclairage électrique.....                                                   | 50 |
| IV.2.1- Le matériel.....                                                          | 50 |
| IV.2.1.1- Les lampes à incandescences.....                                        | 50 |
| IV.2.1.2- Les lampes aux halogènes .....                                          | 51 |
| IV.2.1.3- Les lampes fluo compactes .....                                         | 51 |
| IV.2.1.4- Lampes tubulaires fluorescentes.....                                    | 52 |
| IV.2.1.5- Les luminaires .....                                                    | 52 |
| IV.2.2- le dimensionnement de l'éclairage électrique.....                         | 53 |
| IV.2.2.1- La méthode de calcul.....                                               | 54 |
| IV.2.2.2- calcul de l'éclairage .....                                             | 55 |
| IV.2.2.2.1- le sous sol.....                                                      | 55 |
| IV.2.2.2.2- Le rez de chaussée .....                                              | 57 |
| IV.2.2.2.4- L'étage 1 .....                                                       | 57 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| IV.2.2.2.5- étage 2 .....                                        | 58 |
| IV.3- Eclairage électrique en apport à l'éclairage naturel ..... | 59 |
| IV.3.1- Rez de chaussée .....                                    | 59 |
| IV.3.2- l'étage 1.....                                           | 60 |
| IV.3.3- Etage 2.....                                             | 61 |
| IV.4- Etude économique .....                                     | 61 |
| IV.4.1- La diminution de l'investissement .....                  | 62 |
| IV.4.2- l'économie sur la consommation d'énergie.....            | 62 |
| CONCLUSION.....                                                  | 64 |

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

WEBLIOGRAPHIE

## LISTE DES TABLEAUX

|                |                                                                                                                                     |    |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>I.1 :</b>   | Valeur des coefficients a, b et n.....                                                                                              | 5  |
| <b>I.2 :</b>   | Nature des parois.....                                                                                                              | 6  |
| <b>I.3 :</b>   | Coefficients de convection des parois.....                                                                                          | 7  |
| <b>II.1 :</b>  | Comparaison de trois matériaux de construction.....                                                                                 | 12 |
| <b>II.2 :</b>  | Caractéristiques du mur sans isolant.....                                                                                           | 15 |
| <b>III.1 :</b> | Coefficient de transmission thermique de la paroi en fonction de<br>l'épaisseur de la plaque de plâtre.....                         | 28 |
| <b>III.2 :</b> | Coefficient de transmission thermique de la paroi en fonction de<br>l' épaisseur de la feuille de polystyrène.....                  | 29 |
| <b>III.3 :</b> | Coefficient de transmission thermique de la paroi et l'investissement<br>en fonction de l'épaisseur de la plaque de plâtre.....     | 31 |
| <b>III.4 :</b> | Coefficient de transmission thermique de la paroi et investissement<br>en fonction de l'épaisseur de la feuille de polystyrène..... | 32 |
| <b>IV-1 :</b>  | Niveau d'éclairement naturel.....                                                                                                   | 38 |
| <b>IV-2 :</b>  | Pourcentages à utiliser pour des fourchettes différentes de 9h à 17h.....                                                           | 41 |
| <b>IV-3 :</b>  | Facteur de correction C3 pour tenir compte de l'empoussièrement.....                                                                | 46 |
| <b>IV-4 :</b>  | Correction du facteur moyen de réflexion.....                                                                                       | 46 |
| <b>IV-5 :</b>  | Valeur du facteur du jour pour les locaux du sous sol.....                                                                          | 48 |



|                |                                                                                                         |    |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>IV-6 :</b>  | Valeur du facteur du jour au niveau du rez de chaussée.....                                             | 49 |
| <b>IV-7 :</b>  | Valeur du facteur du jour au niveau de l'étage 1.....                                                   | 49 |
| <b>IV-8 :</b>  | Valeur du facteur du jour au niveau de l'étage 2.....                                                   | 50 |
| <b>IV-9 :</b>  | Correspondance entre les puissances d'une lampe fluo compacte et celle à incandescence.....             | 52 |
| <b>IV-10 :</b> | Eclairage recommandé.....                                                                               | 54 |
| <b>IV-11 :</b> | Nombre de lampes installées dans les locaux du sous sol.....                                            | 56 |
| <b>IV-12 :</b> | Nombre de lampes installées dans les locaux du rez de chaussée.....                                     | 57 |
| <b>IV-13 :</b> | Nombre de lampes installées dans les locaux de l'étage 1.....                                           | 58 |
| <b>IV-14 :</b> | Nombre de lampes installées dans les locaux de l'étage 2.....                                           | 58 |
| <b>IV-15 :</b> | Nombre de lampes installées dans les locaux du rez de chaussée en tenant compte de lumière du jour..... | 60 |
| <b>IV-16 :</b> | Nombre de lampes installées dans les locaux de l'étage 1 en tenant compte de lumière du jour.....       | 60 |
| <b>IV-17 :</b> | Nombre de lampes installées dans les locaux de l'étage 1 en tenant compte de lumière du jour.....       | 61 |

## LISTE DES FIGURES

|              |                                                                                                    |           |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2.1 :</b> | <b>Mur standard.....</b>                                                                           | <b>14</b> |
| <b>2.2 :</b> | <b>Transmission à travers une paroi opaque.....</b>                                                | <b>16</b> |
| <b>2.3 :</b> | <b>Transmission à travers les vitrages.....</b>                                                    | <b>18</b> |
| <b>2.4 :</b> | <b>Transfert par rayonnement solaire à travers les vitrages.....</b>                               | <b>19</b> |
| <b>3.1 :</b> | <b>Paroi isolée par l'intérieur.....</b>                                                           | <b>22</b> |
| <b>3.2 :</b> | <b>Isolation intégrée.....</b>                                                                     | <b>22</b> |
| <b>3.3 :</b> | <b>Isolation par l'extérieur.....</b>                                                              | <b>23</b> |
| <b>3.4 :</b> | <b>Isolation sur les deux faces.....</b>                                                           | <b>24</b> |
| <b>3.5 :</b> | <b>Principe de l'isolation par plâtre.....</b>                                                     | <b>27</b> |
| <b>3.6 :</b> | <b>Principe de l'isolation par le polystyrène.....</b>                                             | <b>27</b> |
| <b>3.7 :</b> | <b>Variation du coefficient K en fonction de l'épaisseur de l'isolant.....</b>                     | <b>30</b> |
| <b>3.8 :</b> | <b>Relation entre le coefficient K et l'investissement.....</b>                                    | <b>33</b> |
| <b>4.1 :</b> | <b>Sensibilité de l'œil humain en fonction de longueur d'onde.....</b>                             | <b>36</b> |
| <b>4.2 :</b> | <b>Répartition des luminances du ciel.....</b>                                                     | <b>39</b> |
| <b>4.3 :</b> | <b>Probabilité d'atteindre un certain niveau d'éclairement en fonction<br/>de la latitude.....</b> | <b>40</b> |
| <b>4.4 :</b> | <b>Composantes du facteur de la lumière du jour.....</b>                                           | <b>43</b> |

|              |                                                                                                                  |    |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>4.5 :</b> | Facteur de la lumière du jour pour des baies rectangulaires en façade et pou différents plans d'observation..... | 44 |
| <b>4.6</b>   | Facteur de correction C1 pour obstacle extérieur dans le cas de fenêtre unilatéral.....                          | 45 |
| <b>4.7</b>   | Influence de la position des baies sur le facteur du jour et de l'éclairement intérieur.....                     | 48 |

## NOMENCLATURE

|                  | Désignation                   | unité                                       |
|------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| e                | Epaisseur                     | m                                           |
| E                | Eclairement                   | lux                                         |
| F                | le flux lumineux              | lm                                          |
| f                | le flux lumineux par lampe    | lm                                          |
| F <sub>1,2</sub> | facteur de forme              | -                                           |
| FJ               | facteur de la lumière du jour |                                             |
| h                | coefficient de convection     | W/m <sup>2</sup> °K                         |
| I                | Intensité lumineuse           | lm/Sr ou cd                                 |
| L                | luminance                     | (cd/m <sup>2</sup> ou W/m <sup>2</sup> mSr) |
| M                | Emittance                     |                                             |
| N                | le nombre de lampes           |                                             |
| Q                | la quantité de chaleur        | (W ou kW)                                   |
| R                | résistance thermique          |                                             |
| S                | Surface                       | m <sup>2</sup>                              |
| T                | Température                   | (°C ou °K)                                  |
| $\alpha$         | coefficient d'absorption      | -                                           |
| $\delta$         | Azimut                        | °                                           |
| $\varepsilon$    | émissivité                    | -                                           |
| $\theta$         | hauteur angulaire             | °                                           |
| $\lambda$        | conductibilité thermique      | W/m°K                                       |
| $\rho$           | coefficient de réflexion      | -                                           |
| $\sigma$         | constante Stefan-Boltzman     | -                                           |
| $\Phi$           | le flux de chaleur            | W/m <sup>2</sup>                            |
|                  | coefficient de transmission   | -                                           |

| indices   | Désignations       |
|-----------|--------------------|
| a         | milieu ambiant     |
| e         | extérieur          |
| i         | intérieur          |
| m         | mur                |
| p         | paroi              |
| Si        | surface intérieure |
| Z         | Zénith             |
| $\theta$  | angulaire          |
| $\lambda$ | longueur d'onde    |

| exposant | Désignations |
|----------|--------------|
| 0        | corps noir   |

## INTRODUCTION

Les bâtiments ont pour raison d'être d'abriter l'homme et ses activités, tant dans sa vie privée que professionnelle. Abriter implique non seulement le clos et le couvert, mais aussi que soit maintenue à l'intérieur du bâtiment une ambiance bien adaptée aux hommes (et éventuellement aux équipements).

Les usagers considèrent que leur confort est un élément essentiel de leur niveau de vie, que ce soit chez eux, dans leur lieu de travail ou en dehors. Ce besoin de confort accru apparaît donc comme une évolution irréversible et, avec la multiplication des appareillages qui consomment de l'énergie, ces faits obligent les concepteurs à consacrer plus d'attention à l'énergétique des bâtiments, à étudier plus soigneusement les phénomènes et les dispositions des équipements, leur utilisation réelle et à intégrer cette préoccupation dans la conception même du bâtiment. Comme cette consommation énergétique impose aux usagers des dépenses, d'autant plus sensibles qu'elles se répètent sans cesse, les concepteurs doivent s'intéresser non seulement aux investissements, mais aussi aux coûts d'exploitation, ce qui les amène à déterminer le comportement prévisible de l'ensemble bâtiment équipement.

Dans le même temps, le marché énergétique a subi des turbulences imprévues qui en modifiant fortement la conjoncture ont provoqué des révolutions techniques et commerciales dans les secteurs énergétiques.

Ainsi dans la construction les demandes et attentes se diversifient, de nouvelles possibilités naissent et foisonnent tandis que les contraintes se multiplient et s'alourdissent. Dans cette situation, les concepteurs, même oeuvrant en équipe, voient leur tâche se compliquer et s'étendre de plus en plus : il n'est pas possible que chaque étude aboutisse à un bâtiment qui satisfasse à toutes les exigences en jeu dans toute ses parties. Car on essaie de déterminer au mieux, dans certaines limites de coûts et de la disponibilité du matériel, l'ensemble bâtiment-équipement qui convienne aux contraintes d'environnement, qui respecte les règlements et qui réponde aux besoins et préférences des usagers, ce qui veut dire faciliter leurs activités, assurer leur confort et s'adapter à leurs goûts.

La satisfaction du confort thermique au sein du bâtiment est souvent le résultat d'une climatisation. Il s'avère donc nécessaire de minimiser la charge supportée par cette dernière. En effet, la charge thermique est directement proportionnelle à l'énergie requise. Cela dit, procéder à une économie d'énergie sur la climatisation revient à faire

cette étude sur tous les éléments ayant une relation directe comme indirecte avec la charge thermique du bâtiment.

Parmi ces éléments on peut en citer l'enveloppe, qui assure la liaison avec l'extérieur, et l'éclairage qui sont incontournables et dont nous allons nous intéresser.

L'étude du projet proprement dit se fera en trois parties précédés par des généralités sur la thermique. La première partie de l'étude portera sur les échanges thermiques au niveau des parois verticales du bâtiment ensuite, on s'intéressera à l'isolation de ces dernières qui occupent la plus grande partie de l'enveloppe. Pour terminer on fera une étude économique de l'éclairage.

# **Chapitre I**

## Généralités sur les échanges thermiques

## I- GENERALITES SUR LES ECHANGES THERMIQUES

La température traduit la vitesse d'agitation des particules élémentaires de la matière. Entre deux corps dont la température est différente se produit inévitablement un flux thermique, la chaleur se déplaçant du corps le plus chaud vers le corps le plus froid jusqu'à ce qu'il y ait équilibre de température.

Cet échange peut s'effectuer de trois manières différentes :

Par conduction

Par convection

Par rayonnement

### I.1- La conduction :

C'est l'échange de chaleur s'effectuant par propagation à l'intérieur d'un solide. La conduction est processus d'échange dans lequel l'énergie cinétique moyenne des diverses particules tend à s'homogénéiser par diffusion de zones chaudes (énergie cinétique moyenne élevée) vers les zones froides. Si l'élément dans lequel se produit la conduction a toutes ses limites isolées thermiquement, la répartition des températures tend à s'uniformiser. Si les conditions imposées aux limites de l'élément sont maintenues constantes, le processus tend à stabiliser : c'est le *régime permanent* ou *régime stationnaire* dans lequel les températures et les flux énergétiques ne dépendent pas du temps. [1]

NB : La conduction pure n'existe pas dans les matériaux de construction, du fait de la présence d'alvéoles plus ou moins gros et irréguliers.

#### **Equation de chaleur :**

Pour ce qui est de la conduction nous avons le flux de chaleur qui est donnée par la formule suivante :

$$\phi = \frac{Te - Ti}{\frac{e}{\lambda}} \quad (1.1)$$

Avec  $\lambda$  = coefficient de conductibilité thermique du matériau en W/m.K

Te = Température à l'extérieur de la paroi en °C ou K

Ti = Température à l'intérieur de la paroi en °C ou K

e = épaisseur de la paroi en m



Cette formule est valable seulement pour un mur simple c'est-à-dire composé d'un seul matériau ; cependant les murs des bâtiments sont toujours en mur composé. Considérons un mur composé de plusieurs éléments (sans sources de chaleur) dont les conductivités thermiques sont les suivantes :  $\lambda_1 ; \lambda_2 ; \dots \lambda_i \dots ; \lambda_n$  et leur épaisseurs respectifs :  $e_1 ; e_2 ; \dots ; e_i \dots ; e_n$ .

Ainsi nous avons **la résistance thermique** de la paroi en conduction qui est donnée par la formule :

$$R = \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_i}{\lambda_i} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} \quad (1.2)$$

$e$  : épaisseur du composant

$\lambda$  : conductivité thermique du composant

Si une paroi est composée de plaques parallèles faites de matériaux différents, les résistances thermiques de chacune des plaques s'ajoutent pour s'opposer au passage du flux de chaleur.

### **I.2- La convection :**

C'est un mode d'échange thermique propre aux fluides.

La convection s'applique au transfert de chaleur associé au transfert de masse, ces phénomènes se développent dans les fluides et en particulier dans l'air.

Si le mouvement du fluide résulte seulement de différences de températures qui entraînent des différences de densité de ce fluide alors on parle de convection naturelle ; tandis que si le mouvement provient d'une autre cause (ventilation mécanique, ...) on parle alors de convection forcée.

#### **Equation de la chaleur :**

Pour exprimer les échanges de chaleur par convection entre la paroi et le fluide on utilise l'équation suivante :

$$\phi = h(T_a - T_p) \quad (1.3)$$

Où :  $\phi$  est le flux convectif surfacique reçu (ou cédé) par la paroi en  $W/m^2$

$h$  est le coefficient de convection en  $W/m^2.K$

Ta et Tp sont respectivement les températures du milieu ambiant et de la paroi (°C ou K)

Le transfert de chaleur par convection est fonction de l'état de surface de la paroi mais de la vitesse d'écoulement du fluide, il est aussi fonction du type de convection : forcée ou naturelle.

Ainsi le problème qui se pose c'est la détermination des coefficients de convection (intérieur et extérieur), pour le cas des parois en contact avec l'air atmosphérique nous avons les formules suivantes [1]:

$$h = a + bV^n \quad (1.4)$$

V : vitesse du vent

a, b, n : sont des coefficients qui sont données par des auteurs en fonction de la vitesse et de l'exposition de la paroi au vent.

| auteurs            | a    | b     | n     |
|--------------------|------|-------|-------|
| Nusselt et Jurges  |      |       |       |
| V < 5 m/s          | 5.8  | 4.1   | 1     |
| V > 5 m/s          | 0    | 7.3   | 0.78  |
| Kimura             |      |       |       |
| Paroi sous le vent | 0.3  | 0.05  | 1     |
| V < 2 m / s        | 0    | 8     | 0.605 |
| V > 2 m / s        | 0    | 12.23 | 1     |
| Ito                |      |       |       |
| Paroi sous le vent | 9    | 0.9   | 1     |
| V < 2 m / s        | 11.7 | 0.3   | 1     |
| 2 < V < 8 m / s    | 6.7  | 2.8   | 1     |
| V > 8 m / s        | 15   | 1.8   | 1     |

**Tableau L.1** : Valeur des coefficients a, b et n [1].

Nous avons aussi le coefficient de convection intérieur qui donnée par la formule suivante :

$$h_i = f + g(T_i + T_{Si})^m \quad (1.5)$$

$T_i$  : température de l'air intérieur

$T_{si}$  : température de la surface intérieure de la paroi

$f, g, m$  : sont des coefficient données par des auteurs en fonction du type de paroi et de la nature du flux (flux ascendant ou flux descendant) (tableau I.2)

| auteurs   | Surface verticale |     |       | Surface horizontale |     |       |                 |     |       |
|-----------|-------------------|-----|-------|---------------------|-----|-------|-----------------|-----|-------|
|           |                   |     |       | Flux ascendant      |     |       | Flux descendant |     |       |
|           | g                 | f   | m     | g                   | f   | m     | g               | f   | m     |
| Matilas   | 1.02              | 0   | 0.33  | -                   | -   | -     | -               | -   | -     |
| Ferries   | 1.06              | 0   | 0.33  | 2.1                 | 0   | 0.33  | 1               | 0   | 0.33  |
| Gaignou   | 1.845             | 0   | 0.25  | -                   | -   | -     | -               | -   | -     |
| Programme |                   |     |       |                     |     |       |                 |     |       |
| BRIIS     | 1.88              | 0   | 0.32  | 2.42                | 0   | 0.31  | 0               | 0.6 | 0     |
| BYVOK     | 0                 | 4   | 0     | 0                   | 5   | 0     | 0               | 2.5 | 0     |
| HEAT      | 1                 | 1.7 | 0.425 | 1                   | 1.7 | 0.425 | 1               | 1.7 | 0.425 |

**Tableau I.2 : Nature des parois [1]**

Cependant pou le calcul des charges thermiques du bâtiment, du fait nous avons généralement de la convection naturelle on prend en général les formules empiriques suivantes [1]:

$$\frac{1}{h_e} = 0,11 \, m^2 kW^{-1} \quad \text{D'où } h_e = 9,0 \quad (1.6)$$

$$\frac{1}{h_i} = 0,06 m^2 KW^{-1} \quad \text{D'où } h_e = 16,67 \quad (1.7)$$

Nous avons aussi dans le tableau I.3 des valeurs qui sont données par le comité français d'isolation.

| Inclinaison des parois et sens de flux | unités                           | Paroi extérieure<br>Une face extérieure – une face intérieure |      | Paroi intérieure<br>Deux parois intérieures |      |
|----------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------|------|
|                                        |                                  | 1/ hi                                                         | 1/he | 1/ hi                                       | 1/he |
| Paroi verticale                        | m <sup>2</sup> °CW <sup>-1</sup> | 0,11                                                          | 0,08 | 0,12                                        | 0,12 |
| Paroi horizontale<br>Flux ascendant    | m <sup>2</sup> °CW <sup>-1</sup> | 0,09                                                          | 0,05 | 0,1                                         | 0,1  |
| Paroi horizontale<br>Flux descendant   | m <sup>2</sup> °CW <sup>-1</sup> | 0,17                                                          | 0,05 | 0,17                                        | 0,17 |

**Tableau I.3** : Coefficients de convection des parois [2]

Ainsi la résistance thermique due à la convection est donnée par la formule :

$$R_i = \frac{1}{h_i} \quad \text{du coté intérieur} \quad (1.8)$$

$$R_e = \frac{1}{h_e} \quad \text{du coté extérieur} \quad (1.9)$$

### I.3- Le rayonnement :

Les corps émettent de l'énergie par leur surface, sous forme d'un rayonnement d'ondes électromagnétiques, et ce d'autant plus que leur température est élevée. Inversement, soumis à un rayonnement, ils en absorbent une partie qui se transforme en chaleur. Le rayonnement est un processus physique de transmission de la chaleur sans support matériel.

Ainsi, entre deux corps, l'un chaud, l'autre froid, mis en vis-à-vis (même séparés par du vide), une transmission de chaleur s'effectue par rayonnement du corps chaud vers le corps froid : le corps chaud émet un flux  $\Phi_1$  et absorbe une partie du flux  $\Phi_2$  émis par le corps froid. Comme  $\Phi_1 > \Phi_2$ , le bilan de flux est tel que le corps chaud cède de l'énergie au corps froid. A l'inverse, le bilan de flux peut être retrouvé sur le corps froid qui émet moins d'énergie qu'il n'en absorbe.

On définit le coefficient d'absorption

$$\alpha = \frac{\text{flux} \cdot \text{absorbé}}{\text{flux} \cdot \text{incident}} \quad (1.10)$$

et le coefficient de réflexion :

$$\rho = \frac{\text{flux} \cdot \text{réfléchi}}{\text{flux} \cdot \text{incident}} \quad (1.11)$$

. Pour un corps opaque, la conservation de l'énergie permet d'écrire

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1.12)$$

**a) Le corps noir :**

L'émetteur ou l'absorbeur idéal est appelé corps noir. Il a la propriété d'absorber tout le rayonnement qui lui parvient quelque soit sa longueur d'onde ; son coefficient d'absorption  $\alpha$  est égal à 1 et son coefficient de réflexion  $\rho = 0$  ; maintenu à la température T, il émet le maximum de rayonnement thermique possible.

La luminance spectrale  $L_{\lambda}^0$  (l'indice 0 est relatif au corps noir) en  $\text{Wm}^{-2} \text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$  est la puissance émise par unité de surface apparente, par unité de longueur d'onde et par unité d'angle solide. On démontre que :

$$L_{\lambda}^0 = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\frac{C_2}{e^{\lambda T}} - 1} \quad (\text{Loi de Planck}). \quad (1.13)$$

L'émittance spectrale  $M_{\lambda}^0$  (unité  $\text{Wm}^{-2} \text{m}^{-1}$ ) est la puissance émise par unité de surface, par unité de longueur d'onde et dans le demi espace supérieur. La plupart des corps ont une luminance spectrale indépendante de la direction d'émission (loi de Lambert). On a alors la relation :

$$M_{\lambda}^0 = \pi L_{\lambda}^0 \quad (1.14)$$

La longueur d'onde  $\lambda_m$  du maximum de l'émittance est donnée par la relation de Wien

$$\lambda_m T = 2896 \mu\text{mK}. \quad (1.15)$$

Quasiment toute la puissance est émise entre les longueurs d'onde  $\lambda_m/2$  et  $7 \lambda_m$ .

L'émittance totale  $M^0$  (unité  $\text{Wm}^{-2}$ ) est la puissance émise par unité de surface dans le demi espace supérieur sur l'ensemble de toutes les longueurs d'onde possibles. Par intégration sur les longueurs d'onde, on trouve que l'émittance totale  $M^0$  du corps noir est proportionnelle à la puissance quatrième de la température absolue de la surface (loi de Stefan Boltzman)

$$M^0 = \sigma T^4 \quad (1.16)$$

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman =  $5,675 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ .

### **b) Corps réels :**

Les propriétés d'émission des corps réels sont définies par rapport à celles du corps noir. On définit l'émissivité  $\epsilon$  d'un corps comme le rapport de sa luminance (ou de son émittance) à celle du corps noir. L'émissivité d'un corps noir est un nombre strictement inférieur à 1. En toute rigueur, l'émissivité dépend de la direction et de la longueur d'onde.

Un corps réel est donc défini par

- son émissivité  $\epsilon$  en ce qui concerne le rayonnement qu'il émet
- son coefficient d'absorption  $\alpha$  en ce qui concerne le rayonnement reçu de son environnement

La loi de Kirchhoff indique que pour la même longueur d'onde et la même direction on a :

$$\alpha_{\lambda,ox} = \epsilon_{\lambda,ox} \quad (1.17)$$

On fait la plupart du temps l'hypothèse que les corps réels se comportent comme des corps gris à émission diffuse. Cette hypothèse entraîne que l'émissivité, et par conséquent le coefficient d'absorption, ne dépend ni de la direction ni de la longueur d'onde. Un corps réel est alors caractérisé par une seule quantité son émissivité  $\epsilon$ .

### **c) Puissance échangée entre deux corps**

Entre deux corps noirs, l'un chaud (température  $T_1$ ), l'autre froid (température  $T_2$ ), en vis-à-vis total ( c'est à dire que tout le flux émis par l'un des corps est reçu par l'autre), le flux net échangé s'écrit

$$\Phi = (\text{flux émis} - \text{flux absorbé}) = S \sigma (T_1^4 - T_2^4). \quad (1.18)$$

Si les deux corps ne sont pas en vis-à-vis total, on fait intervenir un facteur de forme  $F_{1,2}$  qui tient compte de la géométrie considérée et de leur position relatives.[3]

De la même façon, le flux net échange entre deux corps noirs s'écrit

$$\Phi = S_1 F_{1,2} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (1.19)$$

où le facteur de forme fait intervenir cette fois la géométrie considérée et les émissivités des deux corps.[1]

### **I.4- La résistance thermique globale :**

En effet le passage du flux de chaleur dans une paroi est freiné par sa résistance thermique ( $R = e / \lambda$  paroi homogène et  $R = \sum e_i / \lambda_i$  paroi hétérogène ) à laquelle

s'ajoute les résistances intérieure et extérieure de convection et de rayonnement .

Ainsi nous avons la résistance thermique globale qui est la somme des résistances de tous les composants de la paroi.

$$R = \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \quad (1.20)$$

Nous avons le flux de chaleur qui est donné par la formule :

$$\varphi = \frac{T_e - T_i}{R} = \frac{T_e - T_i}{\sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}} \quad (1.21)$$

Ainsi pour avoir une paroi qui résiste bien au passage du flux de chaleur il faut avoir une résistance thermique élevée de cette dernière.

Nous pouvons aussi parler de **la conductance thermique (K)** qui est l'inverse de la résistance.

$$K = \frac{1}{R} \quad (1.22)$$

Le coefficient K est l'expression de l'aptitude d'une paroi à permettre le passage de la chaleur. Plus le coefficient K est faible plus la qualité thermique de la paroi est meilleure.

# **Chapitre II**

## Transfert dans le bâtiment



## **II- TRANSFERT DANS LE BATIMENT**

Le comportement énergétique d'un bâtiment fait intervenir les transferts de chaleur mais également les transferts de masse. Les transferts de masse concernent les circulations d'air ou d'humidité. Elles sont en général difficiles à estimer. Sauf dans les locaux où l'on contrôle la teneur en eau de l'ambiance, l'effet de l'humidité reste négligeable du point de vue énergétique devant les approximations faites pour étudier les autres transferts. Les infiltrations et déperditions seront fonction du choix de l'enveloppe.

### **II.1- Description structurelle de l'enveloppe :**

#### **II.1.1- Etude de la structure de l'enveloppe :**

On appellera enveloppe toute structure destinée à protéger des personnes (protection vis-à-vis du climat, bruit ...) et des objets. On s'intéressera aux bâtiments à usage de bureau.

Les fonctions à remplir par l'enveloppe peuvent être dissociées en deux types :

- Les fonctions de clos et de couvert, qui signifient la protection du contenu de l'enveloppe vis-à-vis de l'extérieur.
- Les fonctions de résistance.

Dans ce qui suit nous nous intéresserons à la fonction couvert, consistant à limiter les charges thermiques venant de l'extérieur.

Suivant le type de fabrication on distingue :

- les enveloppes dissociées qui associent une ossature résistante (répondant à la première fonction) et un matériau de remplissage qui répond à la seconde.
- Les enveloppes intégrées où les façades (en fabrication lourde) assurent simultanément les deux fonctions.

#### **II.1.2- Les enveloppes dissociées :**

##### **a) Matériaux utilisés :**

Généralement, on rencontre trois types de matériaux pour la construction des ossatures :

- Le bois
- L'acier
- Le béton armé ou précontraint

Les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés pour réaliser les ossatures favorisent généralement les transferts thermiques et il est indispensable de lutter contre

les ponts thermiques (nez de plancher, poteaux d'angle, voiles périphériques,...). Le choix du matériau dépend souvent de plusieurs critères. Le tableau 4 rassemble les différentes caractéristiques prises en compte lors du choix et du dimensionnement de l'ossature.

|                                         | Bois                                                                                                                                             | Métal                                                                                                                    | B.A & B.P                                                                                                                       |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Poids propre (daN/m <sup>3</sup> )      | 500                                                                                                                                              | 7800                                                                                                                     | 2500                                                                                                                            |
| Résistance à la rupture<br>(en moyenne) | 136 bars<br>(compression)<br>164 bars (traction)                                                                                                 | 37 à 45 daN/mm <sup>2</sup><br>nuance d'acier E24                                                                        | 250 bars<br>(compression)<br>20.8 bars (traction)<br>(classe 325 dosé à<br>300 kg/m <sup>3</sup> )                              |
| Module d'élasticité                     | 14000bars (chêne)                                                                                                                                | 21000 daN/mm <sup>2</sup>                                                                                                | 300000 bars                                                                                                                     |
| Conductivité<br>(W/m.K)                 | 0.23                                                                                                                                             | 46                                                                                                                       | 0.92                                                                                                                            |
| Portée moyenne<br>réalisable (m)        | 80 et plus (lamellé et<br>collé)                                                                                                                 | 40                                                                                                                       | 20                                                                                                                              |
| Avantages                               | Grandes portées<br>Esthétique                                                                                                                    | Poids propre réduit<br>compte tenu des<br>sections utilisées (I,<br>H, U...)<br>Présente un bon<br>rapport inertie/poids | Aptitude au moulage<br>(grandes diversités de<br>formes).<br>Mise en œuvre<br>nécessitant peu de<br>qualification               |
| Inconvénients                           | Prix élevé<br>(préparation et<br>traitement du<br>matériau)<br>Résistance au<br>cisaillement souvent<br>médiocre<br>Déformation dans le<br>temps | Risques d'instabilités<br>locales compte tenu<br>de l'élancement des<br>profilés                                         | Poids propre élevé<br>Résistance à la<br>traction faible<br>Etalement très<br>important lors de la<br>maturation du<br>matériau |

**Tableau II.1** : Comparaison de trois matériaux de construction [3] :

### **b) Les éléments constitutifs d'une ossature :**

L'ossature, constituant le squelette de l'enveloppe est souvent composée de quatre types d'éléments :

- La charpente, dont le rôle essentiel est de supporter la couverture de l'enveloppe ;
- Les porteurs horizontaux (poutres, planchers) qui permettent d'assurer les circulations horizontales ;
- Les porteurs verticaux (poteaux, voiles) qui transmettent les charges des superstructures jusqu'aux fondations ;
- Les éléments de contreventement, qui empêchent les déformations d'ensemble de la structure sous l'action des charges horizontales.

### **II.1.3- Les enveloppes intégrées :**

Comme susdit, une enveloppe intégrée assure simultanément la fonction d'ossature résistante et la fonction de clos de l'enveloppe.

On peut distinguer deux types d'enveloppe.

- Les panneaux préfabriqués lourds, qui s'encastrent sur les planchers et les refends, et qui transmettent les charges périphériques ;
- Les cellules qui sont des caissons parallélépipédiques à six parois, assemblés entre eux pour constituer l'enveloppe.

Dans les éléments préfabriqués sont intégrées des structures hautement isolantes. Mais une précision est demandée quant à la liaison des panneaux avec les autres éléments de la structure (ou la liaison des cellules entre elles) car les risques de ponts thermiques sont grands.

### **II.2- Les transferts de chaleur dans le bâtiment :**

Les transferts de chaleur dans le bâtiment ont lieu par conduction dans les parois, par convection et par rayonnement de courte longueur d'onde (rayonnement visible d'origine solaire CLO) ou de grande longueur d'onde (rayonnement thermique GLO ou infrarouge). Ces transferts s'effectuent sur :

- Les surfaces de parois en contact avec l'extérieur
- Les surfaces de parois en contact avec les volumes d'air extérieurs
- Le volume d'air intérieurs
- Les parois dans le bâtiment

Cette approche pourtant simpliste fait déjà apparaître la complexité des échanges qui se produisent dans un bâtiment. Pour cela on ne s'intéressera qu'aux échanges thermiques entre l'extérieur et le bâtiment.

### II.2.1- Transfert au niveau des parois verticales :

Les parois verticales sont constituées de murs, de fenêtres et de portes. A côté de sa mission de base (clôture du volume) et de son rôle purement mécanique (solidité), le mur doit impérativement servir d'écran protecteur contre la pénétration des eaux de pluies et résister aux sollicitations et agressions diverses ainsi qu'aux chocs thermiques. Le transfert avec l'extérieur se fait par convection, par conduction et par rayonnement.

#### II.2.1.a- Apport par convection et conduction :

Pour étudier le transfert sur les parois extérieures de l'enveloppe on partira d'un modèle courant constitué d'une brique de 20cm avec un enduit de 2cm sur chaque face. Par la suite on fera des **améliorations rentables** afin de minimiser le flux de chaleur transmis au bâtiment.

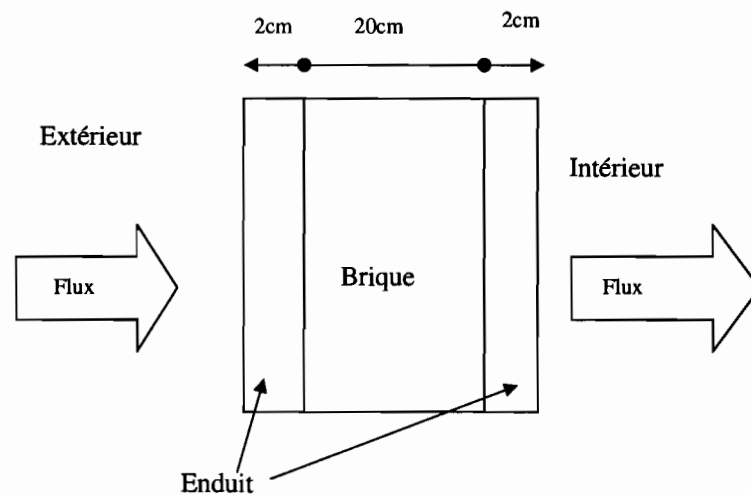


Figure 2.1 : Mur standard

| Mur extérieur                                            | Epaisseur (cm) | $\lambda$ | R (m².°C/W) |
|----------------------------------------------------------|----------------|-----------|-------------|
| Enduit extérieur                                         | 2              | 1,15      | 0,017       |
| Brique                                                   | 20             | 0,61      | 0,328       |
| Enduit intérieur                                         | 2              | 1,15      | 0,017       |
| 1/hi                                                     |                |           | 0,110       |
| 1/he                                                     |                |           | 0,060       |
| Résistance thermique total du mur Rt =                   |                |           | 0,533       |
| Coefficient de transmission thermique du mur K(W/m²/°C)= |                |           | 1,88        |

**Tableau II.2** : Caractéristiques du mur sans isolant. [4]

Au niveau de la paroi non ensoleillée s'établit un échange thermique dû à la différence des températures entre les deux milieux. Cet échange est fonction du gradient de température, mais aussi selon la nature et l'épaisseur des matériaux constitutifs de la paroi, leur disposition, l'orientation de celle-ci. Cet échange se désigne sous le terme de transmission thermique globale ( $\Phi_t$ ).

$$\Phi_t = K.S.\Delta T \quad (2.1)$$

S : Surface de la paroi

$\Delta T$  : différence de température entre l'intérieur et l'extérieur

Pour un bâtiment existant certain facteur comme l'orientation et la disposition sont difficiles à modifier voir même impossible.

Pour augmenter la qualité thermique de la paroi remplaçons l'enduit intérieur par un enduit plâtre ( $\lambda=0.46$  W/m².°C). La nouvelle valeur de K=1.79 W/m².°C donnant un mur de qualité thermique meilleure. Reste maintenant à voir si ce gain compensera le nouvel investissement.

### II.2.1.b- Apport rayonnement solaire :

La quantité de chaleur par unité de surface traversant le mur ensoleillé peut être donnée par la formule empirique suivante [5]:

$$\frac{\Phi_m}{S} = \varphi_m = I_m \times \alpha \times f_s \quad (2.2)$$

Où :

$\varphi_m$  : Flux surfacique absorbé par le mur

$\Phi_{rm}$  : Flux absorbé par le mur

S : Surface du mur

$I_m$  = rayonnement solaire absorbé sur la surface du mur. Il dépend de l'orientation du mur et de l'heure pour laquelle le calcul a été effectué et également de la latitude sous laquelle le bâtiment se trouve.

$\alpha$  = Coefficient d'absorption de la paroi recevant le rayonnement (annexes 5)

$f_s$  = facteur du rayonnement indiquant le pourcentage de flux absorbé par la surface et transmis à travers le mur du local. Il est fonction du coefficient de transmission du mur K suivant une fonction linéaire croissante (Annexe 3).

A partir du même mur que précédemment étudions avec des formules simplifiées l'influence du rayonnement solaire sur la charge calorifique.

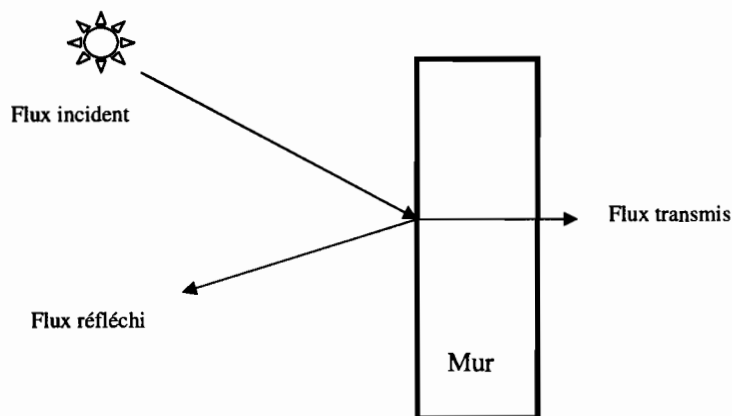


Figure 2.2 : transmission à travers une paroi opaque

K étant déjà fixé au paragraphe antérieur, on peut réduire la quantité de chaleur traversant le mur par ensoleillement en minimisant  $I_m$  et  $\alpha$ .

La réduction de I est souvent difficile puisque étant fonction de variables fixées d'avance par les conditions du milieu (orientation, latitude, heure, masques, etc).

La diminution de  $\alpha$  quant à elle peut se faire en jouant sur l'état et la nature des parois. Une surface claire donne une valeur de coefficient d'absorption plus faible qu'une surface foncée (annexes 5).

Pour le mur précédant dégagé orienté vers le Sud et se trouvant à la latitude  $10^\circ$  nous aurons :

- A l'heure solaire (14h)  $I_m=807\text{W/m}^2$
- Pour  $K=1.87\text{W/m}^2.\text{°C}$  => le coefficient  $f_s= 0.093$

Le flux devient :

$$\varphi_{rm} = \begin{cases} \text{Surface claire : } 30.02\text{W/m}^2 \\ \text{Surface foncée : } 52.53\text{W/m}^2 \end{cases}$$

On choisira donc par la suite des surfaces claires afin de réduire le flux

### II.2.2- Transfert au niveau du vitrage :

L'influence des parois vitrées dans le bilan thermique d'une construction est particulièrement importante. Un vitrage transmet au bâtiment plus d'énergie solaire qu'il n'en apporte sous forme de rayonnement. Une partie de l'énergie est en effet absorbée par le verre et réémise sous forme conductive, convective et radiative vers le local.

Au début, des études sommaires ont conclu la solution un peu simpliste de la réduction des surfaces vitrées. Or depuis, une étude plus fine du problème a permis de se rendre compte que si une paroi vitrée augmente la charge thermique, elle diminue en même temps la charge d'éclairage artificiel.

Il n'est donc pas intéressant de diminuer les surfaces des vitrages ; le problème à résoudre est de réduire l'échange thermique avec l'extérieur par les parois vitrées. Ce problème a été résolu par l'adoption de vitrages isolants posés dans les menuiseries étanches.

Comme pour le cas d'un mur étudions le transfert au niveau d'un vitrage simple clair sans protection.

### II.2.2.a- Apport par transmission à travers les vitrages :

Comme pour les parois opaques, les vitrages échangent de la chaleur avec le milieu extérieur par conduction et par convection. Ce flux de chaleur  $\Phi_v$  est fonction de la différence de température entre l'ambiance et l'extérieur et du coefficient de transmission  $K_v$  du vitrage ou du système de vitrage.

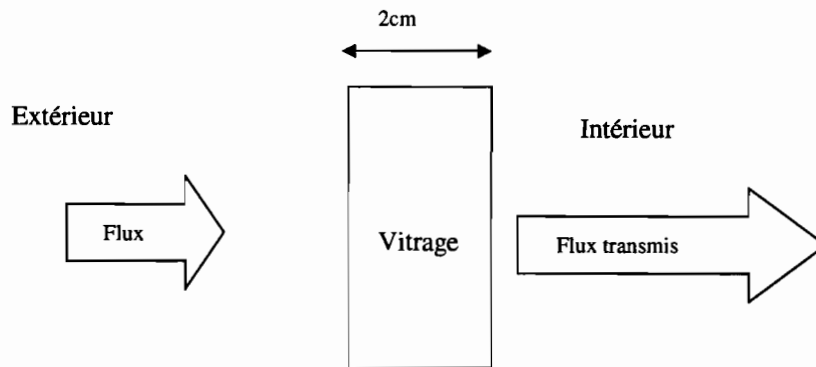


Figure 2.3 : transmission à travers les vitrages

La figure ci-dessus représente un vitrage simple et clair (menuiserie métallique) non ensoleillé de 2 cm d'épaisseurs de conductivité thermique  $\lambda_v=0.81\text{W/m.K}$ . [4]

$$\text{D'où : } \frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{e}{\lambda} = 0.195 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

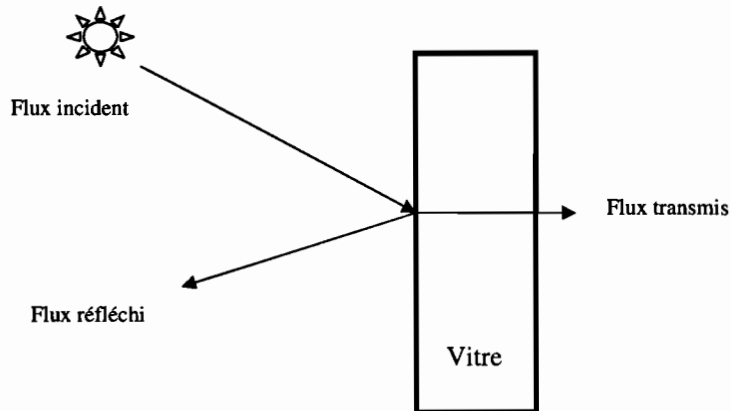
$$\Rightarrow K_v = 5.13 \text{ W/m}^2\text{K}$$

On peut réduire la valeur de  $K_v$  en agissant sur les caractéristiques de la vitre à savoir, l'épaisseur, la nature du matériau et la menuiserie.

### II.2.2.b- Transfert par rayonnement solaire à travers les vitrages :

Les flux solaire, directs et diffus, incidents sur une vitre se divisent respectivement en trois composantes, une partie transmise, une partie absorbée et une partie complémentaire réfléchie vers l'extérieur.





**Figure 2.4** : transfert par rayonnement solaire à travers les vitrages

Le flux maximal reçu par une vitre suivant le milieu ( $\Phi_{rv}$ ) dépend de la latitude, de l'orientation et de l'heure d'ensoleillement du vitrage considéré. Ces facteurs sont établis pour une vitre claire, transparente, sans protection et pour une insolation directe. Il faudra donc apporter des facteurs de correction dans le cas où les calculs sont faits sur d'autres bases. L'apport thermique ( $\Phi_{rv}$ ) dû à l'ensoleillement d'une surface vitrée peut s'écrire [5] :

$$\Phi_{rv} = \Phi_{rv} \cdot \alpha \cdot g \cdot S \quad (2.3)$$

$\Phi_{rv}$ : flux maximal reçu par une vitre claire (W/m<sup>2</sup>) (Annexes 4)

$\alpha$ : coefficient d'absorption du vitrage (Annexes 5)

$g$ : facteur de réduction (Annexes 5). Il est fonction du mode de protection de la fenêtre contre le rayonnement solaire.

Pour le vitrage précédant dégagé orienté vers le Sud et se trouvant à la latitude 10° nous aurons :

– A l'heure solaire (14h)  $I_m = 697 \text{ W/m}^2$

– Pour un coefficient  $\alpha = 1$  choisi

$$\Phi_{rv} = \begin{cases} \text{Vitrage nu } (g=1) = 697 \text{ W/m}^2 \\ \text{Protégé par store intérieure (couleur Al } g=0.45) = 313 \text{ W/m}^2 \end{cases}$$

En adoptant seulement une protection du vitrage on est parvenu à diviser le flux surfacique par deux.

# **Chapitre III**

## Isolation thermique

### **III- ISOLATION THERMIQUE**

Au début, notre confort thermique a été principalement basé sur un gaspillage d'énergie. Il fallut le renchérissement brutal de l'électricité et le déséquilibre des économies qu'il provoquait, pour que l'isolation thermique devienne une nécessité absolue. Il serait anormal d'ailleurs, de limiter son rôle à celui de la conservation de l'énergie thermique ; c'est là sans doute, le but primordial de l'isolation thermique, mais elle procure un certain nombre d'avantages supplémentaire.

L'isolation améliore le confort, en abaissant les températures superficielles des parois. L'isolation diminue la puissance des installations de climatisation ainsi que leur exploitation moins coûteuse par la diminution de la consommation d'énergie. Enfin, l'isolation thermique assure la durabilité des constructions. Elle permet de mieux protéger les éléments du bâtiment contre les variations brutales de température. Elle supprime les condensation, source de vieillissement prématuré.

#### **III.1- Isolation de parois opaques verticales**

Le choix de matériaux isolant permettra de réduire fortement les charges externes. Cette réduction est aussi fonction de la disposition de cette dernière sur le mur.

Mis à part la préoccupation économique, le choix de l'isolant est dictée par le type de paroi à isoler, le système d'isolation adopté (c'est-à-dire, principalement, la position de l'isolant dans la paroi), le mode de fixation ou d'application de l'isolant sur ou dans la paroi, ainsi que par les dimensions de l'emplacement utilisable pour le maître d'œuvre, sans même parler des impératifs telles que la disponibilité (marché) et la sécurité (incendie). Suivant le type d'emplacement, on distingue [2]:

- l'isolation intérieure ;
- l'isolation extérieure ;
- l'isolation intégrée ;
- l'isolation sur les deux faces.

Dans le marché de la sous région nous rencontrons deux types d'isolant généralement utilisés (plâtre, polystyrène) que nous assaillerons d'analyser avant de proposer un premier choix suivant des critères que on se fixera d'avance.

##### **III.1.1- Isolation par l'intérieur :**

L'isolation intérieure est le type d'isolation le plus facile à réaliser aussi bien

sur un bâtiment en réalisation que sur un ancien bâtiment. Le mur, en maçonnerie traditionnelle (briques, blocs en béton, pierre) ou en béton banché, reçoit sur sa face extérieure un revêtement, ou un parement, le protégeant des infiltrations de l'eau de pluie. L'isolation est disposée sur la face intérieure de la paroi, du côté froid, à l'intérieur de la construction.

- insérée entre la maçonnerie et le parement intérieur de la paroi, par exemple, une contre-cloison en maçonnerie;
- disposée contre la maçonnerie, sous forme d'un complexe isolant rigide ou même autoportant ;
- placée devant la paroi, en ménageant une lame d'air qui pourra éventuellement être drainée, en partie basse, vers l'extérieur.

Du fait de sa position à l'intérieur du bâtiment, il existe un choix très large du type d'isolant qu'on peut utiliser. Quand l'isolant retenu est très perméable à la vapeur d'eau, la présence d'un pare-vapeur est indispensable. Par contre, quand l'isolant est peu perméable (par exemple: mousse de synthèse à cellules fermées), la présence d'un pare-vapeur n'est pas indispensable dans les locaux à hygrométrie normale. Il est à noter que la constitution de la paroi, et notamment la nature de son parement extérieur, peut parfois imposer la présence d'un pare-vapeur. Dans le cas des constructions en milieu tropical, la présence d'un pare vapeur n'est pas indispensable.

Par ailleurs, quand l'isolant est directement en contact avec la paroi, on doit éviter le choix d'un matériau hydrophile qui risquerait d'absorber l'humidité imprégnant par capillarité le gros oeuvre (Parois et murs de façade en maçonnerie). La meilleure défense contre ce phénomène est la création d'une lame d'air qui joue le rôle de barrière de capillarité. On doit penser à l'humidification toujours possible du matériau isolant quand on décide de combler une lame d'air avec lui; il faut donc en choisir un qui ne risque pas d'absorber de l'eau. Ce problème se pose plus souvent en restauration de bâtiments anciens qu'en construction neuve.

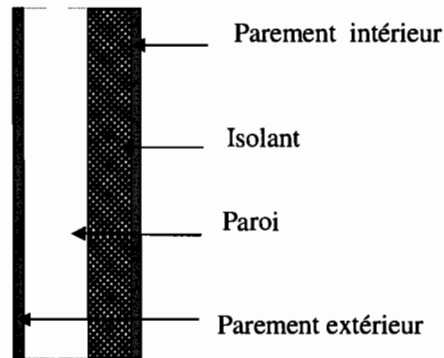


Figure 3.1 : Paroi isolée par l'intérieur

### III.1.2- Isolation intégrée à la paroi :

Par « isolation intégrée à la paroi », il faut entendre, isolant pris en sandwich au coeur de la paroi. Cette dernière peut être préfabriquée ou réalisée en oeuvre, mais, dans un cas comme dans l'autre, l'isolant sera non hydrophile et imputrescible. On emploie généralement, pour réaliser ce type d'isolation, des mousses de synthèse à cellules fermées, utilisées sous forme de plaques (polystyrène, polyuréthane, etc.) ou mises en oeuvre par injection (polyuréthane, mousse formophénolique, etc.). Il est à noter que ce type d'isolation n'est possible que sur un bâtiment en construction.

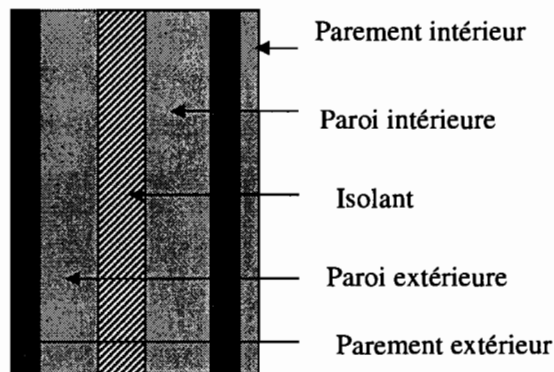


Figure 3.2 : Isolation intégrée

### III.1.3- Isolation par l'extérieur :

L'isolation par l'extérieur des parois constitue une solution séduisante. En effet, elle permet de supprimer la majorité des ponts thermiques classiques tels que : encadrement baie, abouts de plancher, etc. Elle protège la paroi contre les chocs thermiques auxquels l'isolant choisit doit résister.

L'isolation extérieure peut être réalisée suivant deux techniques différentes, l'une relevant de *l'étanchéité* et l'autre de la *couverture*. La première protège l'isolant par un enduit ; la seconde réalise la protection de l'isolant par un bardage, avec interposition d'une lame d'air ventilée. L'isolation par l'intérieur n'est généralement possible que pour des constructions neuves.

L'isolation extérieure avec protection par enduit est un procédé délicat et ne peut être mis en œuvre que sous forme d'un procédé complet et cohérent, possédant un avis technique ou une garantie du fabricant.

La protection par bardage quant à elle requiert une entreprise spécialisée, agréée par le fabricant d'isolant ou de bardage.

Tous ces paramètres à respecter rendent l'isolation par l'extérieur de la paroi difficile et onéreux.

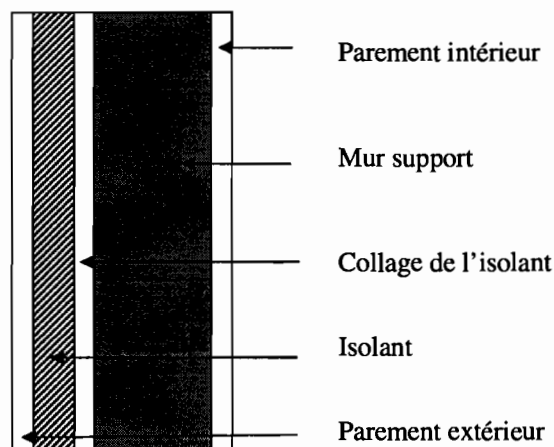


Figure 3.3 : Isolation par l'extérieur

#### **III.1.4- Isolation sur les deux faces de la paroi :**

Elle combine les avantages et les inconvénients de l'isolation intérieure et extérieure. On peut concevoir une isolation d'épaisseur égale ou inégale sur chacune des faces, suivant que l'on veut augmenter l'inertie thermique de la paroi ou qu'il s'agit du renforcement d'une isolation existante. Pour réaliser une telle isolation, on doit consulter les méthodes d'isolations intérieure et extérieure.

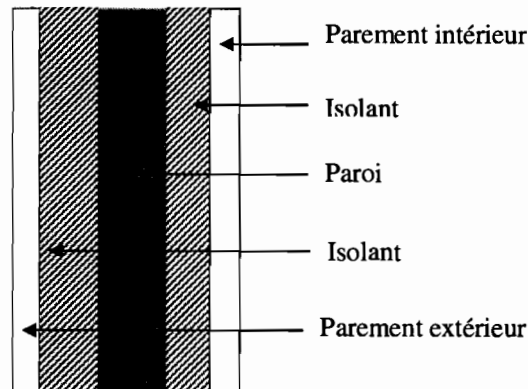


Figure 3.4 : Isolation sur les deux faces

### III.1.5- Choix du système d'isolation :

Le choix du système d'isolation est complexe puisqu'il fait appel à plusieurs paramètres. En effet pour choisir l'emplacement le plus économique et le plus durable après la fonction d'isolation de base, il faut tenir compte :

- de la nature de l'isolant à utiliser ;
- des paramètres du milieu dans lequel il est exposé ;
- du mode de fixation à la paroi ;
- de la durée de vie du bâtiment ;
- du coût de l'installation ;
- etc.

Le bâtiment pris comme référence étant à proximité de la mer où l'humidité et de salinité est un peu élevé, le système extérieur peu être exclu. En effet une protection particulière sera nécessaire afin de prolonger la durée de vie de l'isolant. La présence d'un sous-sol dans le bâtiment limitera le système de protection de l'isolant si cette dernière se trouve à l'extérieur. Le bâtiment en construction nous empêchera d'adopter une isolation intégrée et appuiera en même temps notre première suggestion. Restera le système d'isolation par l'intérieur qui peut être effectué en dehors du projet de construction. Ce système offre un choix très large de l'isolant et une bonne protection de cette dernière contre les chocs thermiques et les intempéries. Le système d'isolation par l'intérieur est plus facile à exécuter et requiert moins de devises.

### **III.1.6- Isolants :**

Les matériaux isolant sont nombreux et de natures différentes; le choix est très large et varié. En ce qui nous concerne on se contentera d'étudier les types d'isolant les plus accessibles de la sous région.

Après consultation du marché, nous avons retenu comme isolant le polystyrène et le plâtre. Un choix définitif sera fait par la suite en fonction de leur rentabilité pour une même résistance.

#### **a) Le polystyrène :**

L'éthylène et le benzène sont les matériaux de départ pour la production de la résine thermoplastique polystyrène qui s'est répandue au cours des années 30 et qui a eu un succès énorme, en raison de sa possibilité d'être travaillée par injection, extrusion et soufflage. Il est impossible de décrire toutes ses utilisations. Le secteur principal est celui de l'emballage. Mais aussi il est utilisé dans le bâtiment, dans les articles électroménagers, dans les interrupteurs etc.

Le polystyrène est un matériau isolant bien connu et facilement identifiable par sa légèreté. Ses applications dans la construction sont multiples et ont pour objet le confort et la protection des personnes et des biens, qu'il s'agisse de l'isolation thermique ou thermo-acoustique des murs (panneaux et complexes de doublage), des sols (isolants sous chapes flottantes), des planchers (entrevous moulés ou découpés), des toitures ou encore des réservations et coffrages perdus.

C'est un produit majeur dans l'isolation du bâtiment avec plus de 30 % du marché des isolants. Les variétés de polystyrène permettent de répondre aux réglementations tant thermiques qu'acoustiques avec un rapport qualité-performance-prix sans équivalent.

Grâce à ses qualités notamment, acoustique, hydrophobe, mécanique, thermique, le polystyrène répond parfaitement à tous les objectifs de l'isolation :

- Améliorer le confort des occupants notamment par l'élimination du phénomène des parois froides et par l'élimination des bruits provenant tant de l'intérieur que de l'extérieur.
- Limiter la facture énergétique en réduisant très significativement les déperditions calorifiques par les parois.
- Protéger les murs en éliminant l'humidité due à la condensation sur les parois froides.



- Favoriser ainsi une plus grande pérennité des constructions.

Le polystyrène est un isolant stable dans le temps ; toutes ses propriétés sont conservées de sa mise en œuvre à la démolition ou déconstruction des bâtiments.

Les performances des solutions et des systèmes constructifs à base de polystyrène ont très fortement évolué au cours des dernières années. Ainsi, à épaisseur égale, la performance acoustique du polystyrène a doublé et sa résistance thermique a augmenté de 50%.

Suivant la structure on distingue :

- Le polystyrène expansé : composé d'une structure à pores ouverts, c'est le matériau le plus économique. C'est un isolant thermique convenable.
- Le polystyrène extrudé : composée d'une structure à pores fermés, plus onéreux, cette matière possède, à épaisseur égale, un coefficient d'isolation thermique supérieur d'environ 30% par rapport au polystyrène expansé.[6]

#### **b) Le plâtre :**

Connu depuis l'Antiquité, le plâtre est un des plus anciens matériaux de construction fabriqués par l'homme. S'il est encore employé sous sa forme traditionnelle de poudre gâchée avec de l'eau pour réaliser des enduits, c'est sous la forme d'éléments préfabriqués en usine (carreaux, dalles, plaques) que son utilisation se développe aujourd'hui pour répondre aux besoins de la construction. Le plâtre a également des usages dans d'autres secteurs d'activité : brasserie, boulangerie, fabrication de moules pour vaisselle et sanitaires.

Le plâtre s'obtient par déshydratation du gypse – roche naturelle ou sous produit de certaines industries – qui est un sulfate de calcium hydraté de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Du fait de sa faible conductivité thermique  $\lambda$ , le plâtre peut s'employer seul ou associé à d'autres matériaux pour améliorer l'isolation thermique des parois. Un enduit plâtre appliqué sur une paroi de béton ou de terre cuite forme un revêtement continu qui améliore l'isolation thermique. Les plâtres spéciaux qui incorporent des charges d'agréats légers qui ont des conductivités thermiques de l'ordre de  $0,18$  à  $0,20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  sont particulièrement destinés à cet usage. En outre, du fait de sa forte inertie thermique et de sa faible conductivité thermique, le plâtre élimine le phénomène de paroi froide. Le plâtre permet de plus – en association avec des matériaux isolants minéraux ou de synthèse ayant des conductivités thermiques très faibles ( $0,03$  à  $0,04 \text{ W}$

. m-1 . K-1), qui sont des matériaux spécifiques de l'isolation mais qui ne constituent pas comme lui des matériaux de construction – de réaliser des systèmes d'isolation efficaces. Dans le bâtiment, le plâtre est utilisé sous différentes formes.

#### **Enduits intérieurs :**

On distingue trois familles de plâtres pour enduits intérieurs :

- pour enduit manuel
- pour projection mécanique ;
- pour enduits spéciaux appliqués soit manuellement, soit par projection mécanique.

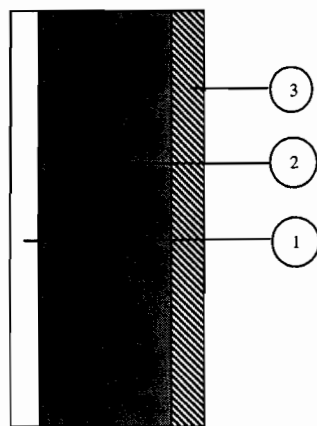
#### **Plâtres pour préfabrication :**

Les plâtres pour préfabrication sont destinés à la fabrication d'éléments moulés et séchés en usine pour cloisons, plafonds et doublage. Ces plâtres sont presque toujours exclusivement constitués de semi hydrates et se caractérisent par une bonne fluidité facilitant le coulage, un durcissement rapide et des performances mécaniques élevées.  
[6]

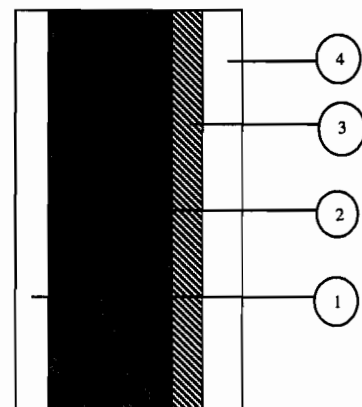
#### **III.1.7-Choix de l'isolant :**

Le choix d'un isolant approprié dépend de plusieurs facteurs dont les plus important restent :

- Le coefficient de transmission
- L'environnement
- Le coût



**Figure 3.5 :** Principe de l'isolation par plâtre  
1. Enduit extérieur 2cm, 2. Brique de 20cm,  
3.Plâtre



**Figure 3.6 :** Principe de l'isolation par le polystyrène  
1. Enduit extérieur 2cm, 2. Brique de 20cm,  
3.Polystyrène, 4. Enduit intérieur 1,5cm.

| Enduit extérieur + brique |       | Plâtre       |           |      | Coefficient de transmission |
|---------------------------|-------|--------------|-----------|------|-----------------------------|
| Epaisseur(e)              | R     | Epaisseur(e) | $\lambda$ | R    | K                           |
| 0,22                      | 0,515 | 0            | 0,25      | 0    | 1,94                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,005        | 0,25      | 0,02 | <b>1,87</b>                 |
| 0,22                      | 0,515 | 0,01         | 0,25      | 0,04 | 1,80                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,015        | 0,25      | 0,06 | 1,74                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,02         | 0,25      | 0,08 | 1,68                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,025        | 0,25      | 0,1  | 1,63                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,03         | 0,25      | 0,12 | 1,57                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,035        | 0,25      | 0,14 | 1,53                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,04         | 0,25      | 0,16 | 1,48                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,045        | 0,25      | 0,18 | 1,44                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,05         | 0,25      | 0,2  | 1,40                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,055        | 0,25      | 0,22 | 1,36                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,06         | 0,25      | 0,24 | 1,32                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,065        | 0,25      | 0,26 | 1,29                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,07         | 0,25      | 0,28 | 1,26                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,075        | 0,25      | 0,3  | 1,23                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,08         | 0,25      | 0,32 | 1,20                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,085        | 0,25      | 0,34 | 1,17                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,09         | 0,25      | 0,36 | 1,14                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,095        | 0,25      | 0,38 | 1,12                        |
| 0,22                      | 0,515 | 0,1          | 0,25      | 0,4  | 1,09                        |

**Tableau III.1** : Coefficient de transmission thermique de la paroi en fonction de l'épaisseur de la plaque de plâtre.

| Enduits intérieur +<br>brique+enduit extérieur |       | Polystyrène  |           |       | Coefficient de<br>transmission<br>K (W/m <sup>2</sup> .°C) |
|------------------------------------------------|-------|--------------|-----------|-------|------------------------------------------------------------|
| épaisseur(e)                                   | R     | épaisseur(e) | $\lambda$ | R     |                                                            |
| 0,235                                          | 0,528 | 0            | 0,041     | 0,000 | 1,89                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,005        | 0,041     | 0,122 | 1,54                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,01         | 0,041     | 0,244 | 1,30                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,015        | 0,041     | 0,366 | 1,12                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,02         | 0,041     | 0,488 | 0,98                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,025        | 0,041     | 0,610 | 0,88                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,03         | 0,041     | 0,732 | 0,79                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,035        | 0,041     | 0,854 | 0,72                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,04         | 0,041     | 0,976 | 0,67                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,045        | 0,041     | 1,098 | 0,62                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,05         | 0,041     | 1,220 | 0,57                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,055        | 0,041     | 1,341 | 0,53                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,06         | 0,041     | 1,463 | 0,50                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,065        | 0,041     | 1,585 | 0,47                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,07         | 0,041     | 1,707 | 0,45                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,075        | 0,041     | 1,829 | 0,42                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,08         | 0,041     | 1,951 | 0,40                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,085        | 0,041     | 2,073 | 0,38                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,09         | 0,041     | 2,195 | 0,37                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,095        | 0,041     | 2,317 | 0,35                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,1          | 0,041     | 2,439 | 0,34                                                       |

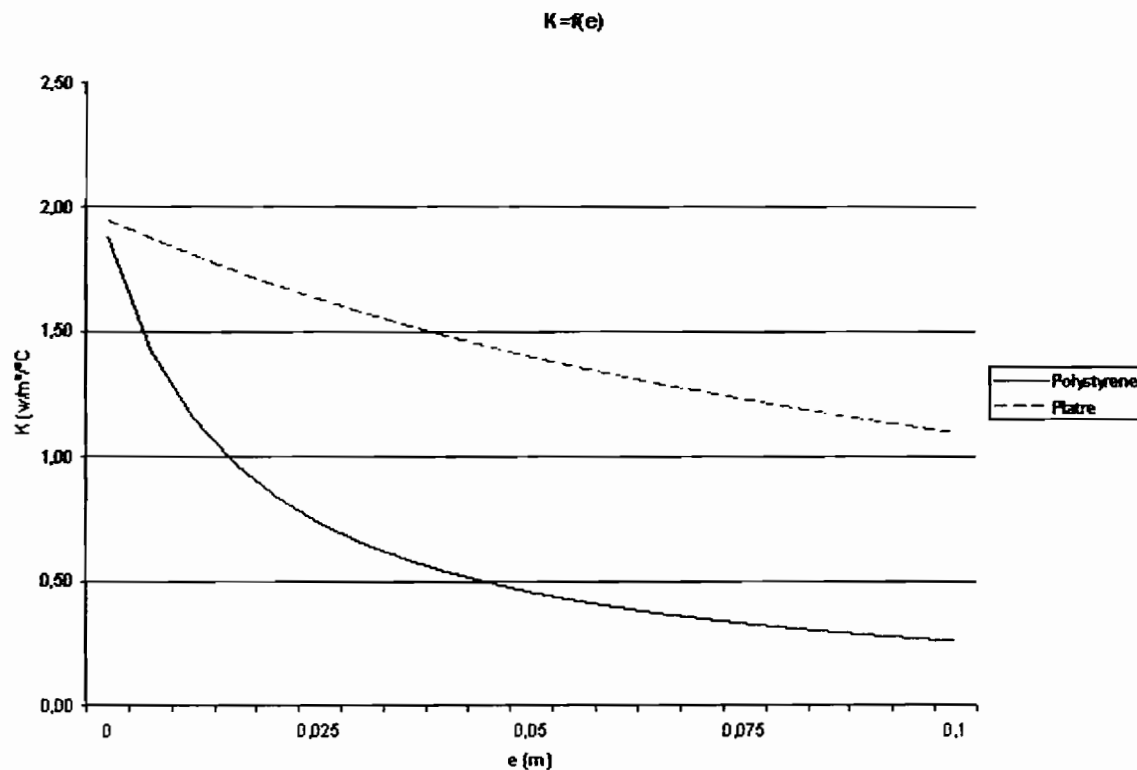
**Tableau III.2 :** Coefficient de transmission thermique de la paroi en fonction de l'épaisseur de la feuille de polystyrène.

| Enduit extérieur + brique |       | Plâtre       |           |      | Coefficient de transmission<br>K |
|---------------------------|-------|--------------|-----------|------|----------------------------------|
| Epaisseur(e)              | R     | Epaisseur(e) | $\lambda$ | R    |                                  |
| 0,22                      | 0,515 | 0            | 0,25      | 0    | 1,94                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,005        | 0,25      | 0,02 | <b>1,87</b>                      |
| 0,22                      | 0,515 | 0,01         | 0,25      | 0,04 | 1,80                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,015        | 0,25      | 0,06 | 1,74                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,02         | 0,25      | 0,08 | 1,68                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,025        | 0,25      | 0,1  | 1,63                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,03         | 0,25      | 0,12 | 1,57                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,035        | 0,25      | 0,14 | 1,53                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,04         | 0,25      | 0,16 | 1,48                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,045        | 0,25      | 0,18 | 1,44                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,05         | 0,25      | 0,2  | 1,40                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,055        | 0,25      | 0,22 | 1,36                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,06         | 0,25      | 0,24 | 1,32                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,065        | 0,25      | 0,26 | 1,29                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,07         | 0,25      | 0,28 | 1,26                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,075        | 0,25      | 0,3  | 1,23                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,08         | 0,25      | 0,32 | 1,20                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,085        | 0,25      | 0,34 | 1,17                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,09         | 0,25      | 0,36 | 1,14                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,095        | 0,25      | 0,38 | 1,12                             |
| 0,22                      | 0,515 | 0,1          | 0,25      | 0,4  | 1,09                             |

**Tableau III.1** : Coefficient de transmission thermique de la paroi en fonction de l'épaisseur de la plaque de plâtre.

| Enduits intérieur +<br>brique+enduit extérieur |       | Polystyrène  |           |       | Coefficient de<br>transmission<br>K (W/m <sup>2</sup> .°C) |
|------------------------------------------------|-------|--------------|-----------|-------|------------------------------------------------------------|
| épaisseur(e)                                   | R     | épaisseur(e) | $\lambda$ | R     |                                                            |
| 0,235                                          | 0,528 | 0            | 0,041     | 0,000 | 1,89                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,005        | 0,041     | 0,122 | 1,54                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,01         | 0,041     | 0,244 | 1,30                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,015        | 0,041     | 0,366 | 1,12                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,02         | 0,041     | 0,488 | 0,98                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,025        | 0,041     | 0,610 | 0,88                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,03         | 0,041     | 0,732 | 0,79                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,035        | 0,041     | 0,854 | 0,72                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,04         | 0,041     | 0,976 | 0,67                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,045        | 0,041     | 1,098 | 0,62                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,05         | 0,041     | 1,220 | 0,57                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,055        | 0,041     | 1,341 | 0,53                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,06         | 0,041     | 1,463 | 0,50                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,065        | 0,041     | 1,585 | 0,47                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,07         | 0,041     | 1,707 | 0,45                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,075        | 0,041     | 1,829 | 0,42                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,08         | 0,041     | 1,951 | 0,40                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,085        | 0,041     | 2,073 | 0,38                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,09         | 0,041     | 2,195 | 0,37                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,095        | 0,041     | 2,317 | 0,35                                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,1          | 0,041     | 2,439 | 0,34                                                       |

**Tableau III.2** : Coefficient de transmission thermique de la paroi en fonction de l'épaisseur de la feuille de polystyrène.



**Figure 3.7 :** variation du coefficient de transmission de chaleur (K) en fonction de l'épaisseur (e) de l'isolant.

Sans se soucier de l'investissement on voit nettement qu'il est beaucoup plus intéressant de choisir le polystyrène comme isolant. Le coefficient de transmission est un facteur de choix important, mais néanmoins le choix ne peut pas être définitif si les isolants n'engendrent pas les mêmes dépenses.

| Enduit extérieur + brique |       | Plâtre       |           |      | Coefficient de transmission<br>K (W/m².°C) | Valeur ajoutée en<br>fcfa/m² |
|---------------------------|-------|--------------|-----------|------|--------------------------------------------|------------------------------|
| Epaisseur(e)              | R     | Epaisseur(e) | $\lambda$ | R    |                                            |                              |
| 0,22                      | 0,515 | 0            | 0,25      | 0    | 1,94                                       | 0                            |
| 0,22                      | 0,515 | 0,005        | 0,25      | 0,02 | <b>1,87</b>                                | 4250                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,01         | 0,25      | 0,04 | 1,80                                       | 4500                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,015        | 0,25      | 0,06 | 1,74                                       | 4750                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,02         | 0,25      | 0,08 | 1,68                                       | 5000                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,025        | 0,25      | 0,1  | 1,63                                       | 5250                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,03         | 0,25      | 0,12 | 1,57                                       | 5500                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,035        | 0,25      | 0,14 | 1,53                                       | 5750                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,04         | 0,25      | 0,16 | 1,48                                       | 6000                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,045        | 0,25      | 0,18 | 1,44                                       | 6250                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,05         | 0,25      | 0,2  | 1,40                                       | 6500                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,055        | 0,25      | 0,22 | 1,36                                       | 6750                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,06         | 0,25      | 0,24 | 1,32                                       | 7000                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,065        | 0,25      | 0,26 | 1,29                                       | 7250                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,07         | 0,25      | 0,28 | 1,26                                       | 7500                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,075        | 0,25      | 0,3  | 1,23                                       | 7750                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,08         | 0,25      | 0,32 | 1,20                                       | 8000                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,085        | 0,25      | 0,34 | 1,17                                       | 8250                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,09         | 0,25      | 0,36 | 1,14                                       | 8500                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,095        | 0,25      | 0,38 | 1,12                                       | 8750                         |
| 0,22                      | 0,515 | 0,1          | 0,25      | 0,4  | 1,09                                       | 9000                         |

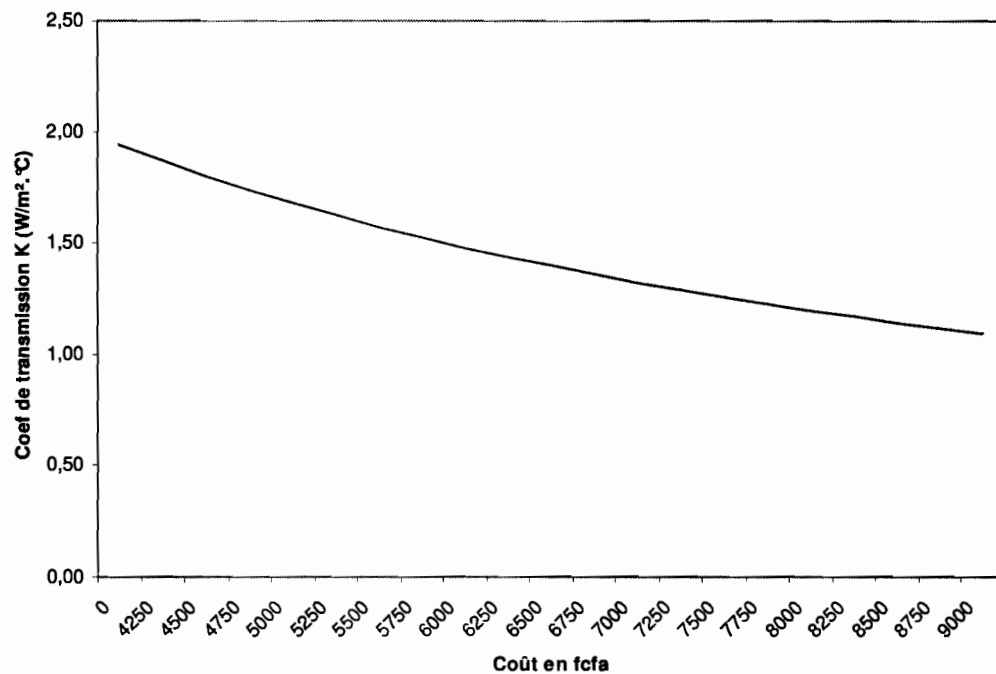
**Tableau III.3** : Coefficient de transmission thermique de la paroi et  
l'investissement en fonction de l'épaisseur de la plaque de plâtre.



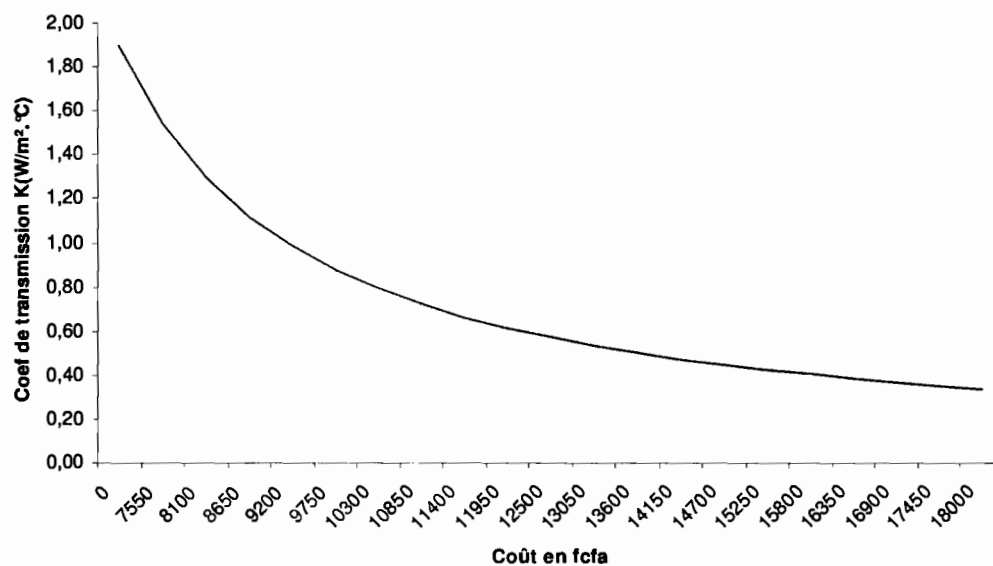
| Enduits intérieur +<br>brique+enduit extérieur |       | Polystyrène  |           |       | Coefficient de<br>transmission<br>K (W/m <sup>2</sup> .°C) | Valeur<br>ajoutée en<br>fcfa/m <sup>2</sup> |
|------------------------------------------------|-------|--------------|-----------|-------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| épaisseur(e)                                   | R     | épaisseur(e) | $\lambda$ | R     |                                                            |                                             |
| 0,235                                          | 0,528 | 0            | 0,041     | 0,000 | 1,89                                                       | 0                                           |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,005        | 0,041     | 0,122 | 1,54                                                       | 7550                                        |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,01         | 0,041     | 0,244 | 1,30                                                       | 8100                                        |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,015        | 0,041     | 0,366 | 1,12                                                       | 8650                                        |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,02         | 0,041     | 0,488 | 0,98                                                       | 9200                                        |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,025        | 0,041     | 0,610 | 0,88                                                       | 9750                                        |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,03         | 0,041     | 0,732 | 0,79                                                       | 10300                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,035        | 0,041     | 0,854 | 0,72                                                       | 10850                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,04         | 0,041     | 0,976 | 0,67                                                       | 11400                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,045        | 0,041     | 1,098 | 0,62                                                       | 11950                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,05         | 0,041     | 1,220 | 0,57                                                       | 12500                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,055        | 0,041     | 1,341 | 0,53                                                       | 13050                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,06         | 0,041     | 1,463 | 0,50                                                       | 13600                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,065        | 0,041     | 1,585 | 0,47                                                       | 14150                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,07         | 0,041     | 1,707 | 0,45                                                       | 14700                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,075        | 0,041     | 1,829 | 0,42                                                       | 15250                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,08         | 0,041     | 1,951 | 0,40                                                       | 15800                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,085        | 0,041     | 2,073 | 0,38                                                       | 16350                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,09         | 0,041     | 2,195 | 0,37                                                       | 16900                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,095        | 0,041     | 2,317 | 0,35                                                       | 17450                                       |
| 0,235                                          | 0,528 | 0,1          | 0,041     | 2,439 | 0,34                                                       | 18000                                       |

**Tableau III.4** : Coefficient de transmission thermique de la paroi et  
investissement en fonction de l'épaisseur de la feuille de polystyrène.

a) Plâtre



b) Polystyrène



**Figure 3.8:** relation entre le coefficient de transmission ( $K$ ) et l'investissement par m²

En incluant le facteur coût dans nos critères on observe sur la figure 3.8 que le choix du polystyrène comme isolant n'est pas généralement justifié.

En effet pour obtenir un coefficient  $K$  compris entre 1 et 2  $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  l'investissement se trouve entre 9000 et 4000 fca pour le plâtre et entre 9200 et 7550 fca pour le polystyrène. Le critère environnement n'est pas très pertinent puisqu'on a choisi un système d'isolation par l'intérieur.

Pour une meilleure isolation à un faible coût, il sera plus rentable dans les limites de l'épaisseur de la paroi de choisir le Plâtre.

Une estimation simpliste du gain de flux par conduction à travers les parois opaques dû à l'isolation par 2cm de plâtre donne : une économie de **797,4  $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$**  à chaque instant par rapport à un mur avec enduit intérieur en ciment ce qui n'est pas une valeur négligeable et produit un investissement de 3 692 000 fca. Pour une variation de 7  $^\circ\text{C}$  on gagnera environ 8 kW sur la puissance à fournir.

NB : Pour des coefficients  $K$  très faible le choix du polystyrène réduira le problème d'encombrement.

### **III.2- Isolation des vitrages :**

Les vitrages constituent les surfaces les plus perméables à l'énergie thermique et comme il n'est pas question de les supprimer ni d'en réduire les dimensions dans des proportions très importantes, il faut isoler. En construction neuve, le vitrage isolant constitue la mesure la plus efficace, avec l'étanchéité pour minimiser les charges de climatisation.

Il existe plusieurs types de vitrage isolant. Notre choix sera dicté par le facteur solaire, le facteur lumineux, le coefficient de transmission et la disponibilité sur le marché de la sous région.

Dans la gamme de produit trouvés sur le marché, le double vitrage réfléchissant (ANTELIO ou PLANTHERM) de couleur havane avec  $K = 1,7 \text{ W/m}^2\text{C}$  et un facteur lumineux de 20% répond le mieux à nos critères de choix.

Comparé au coefficient de transmission des vitrages simples compris entre 5 et 6  $\text{W/m}^2\text{C}$  on voit nettement la nécessité d'adopter les vitrages isolant.

# **Chapitre IV**

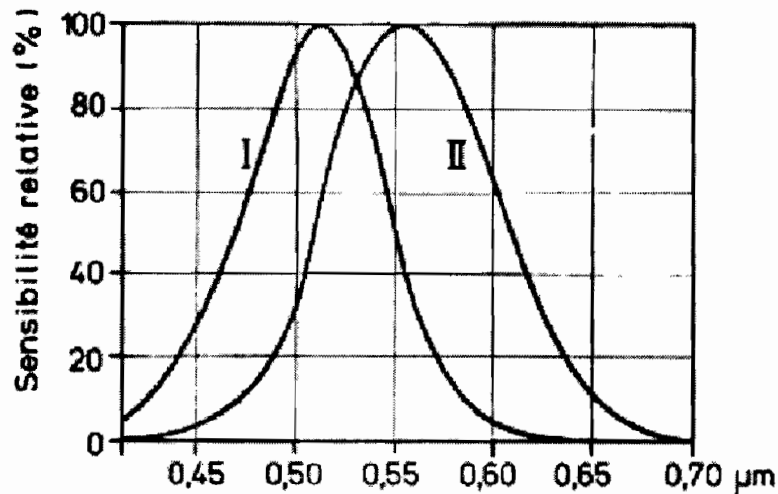
## Economie d'énergie sur l'éclairage

#### IV. ECONOMIE D'ENERGIE SUR L'ECLAIRAGE :

La lumière est une notion subjective associée à la perception par l'œil humain du rayonnement électromagnétique de longueur d'ondes comprises entre 0.38 et 0.76 microns. En effet l'œil humain est aveugle pour le reste du rayonnement électromagnétique.

La lumière est un besoin vital pour l'homme, elle participe au confort visuel. La lumière est indispensable pour tous les travaux que l'homme effectue, elle permet d'augmenter la productivité, car il a été démontré par des spécialistes du monde du travail que l'éclairage joue un rôle important sur la productivité.

Ainsi l'éclairage occupe une part importante de la consommation en énergie du bâtiment. C'est pourquoi dans un cadre de projet d'éclairage, il faut tenir compte de la disponibilité de la lumière naturelle. Une bonne exploitation de cette dernière nous permettra de réaliser des économies d'énergie non négligeables.



I- Vision crépusculaire

II- Vision du jour

**Figure 4-1** : sensibilité de l'œil humain en fonction de longueur d'onde. [7]

#### Définitions et rappels :

Nous définissons certains termes que nous allons utiliser dans la suite des travaux, Afin de lever toute ambiguïté.

### **Le flux lumineux :**

C'est la quantité d'énergie émise par une source sous forme de rayonnement dans toutes les directions. Le flux lumineux est une grandeur photométrique dérivée du flux énergétique en tenant compte de la sensibilité spectrale de l'œil humain.

Le flux lumineux s'exprime en lumen (lm) et il est noté  $\Phi$  ou F.

### **L'intensité lumineuse :**

Elle définit l'importance du flux lumineux émis dans une direction donnée par une source de rayonnement ponctuelle au travers d'un angle solide ( $\omega$ ).

L'intensité lumineuse s'exprime en candela (cd) ou en lumen par stéradian (lm/sr).

Symbole : I

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (4-1)$$

### **L'éclairement :**

C'est la quantité de lumière reçue par unité de surface. C'est le quotient du flux lumineux reçu par un élément d'une surface par l'aire de cet élément.

L'éclairement s'exprime en Lux (lumen / m<sup>2</sup>), il a pour symbole E.

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (4.2)$$

### **La luminance :**

Cette grandeur détermine l'aspect lumineux d'une surface éclairée ou d'une source dans une direction donnée et dont dépend la sensibilité de luminosité. Elle n'a de sens que pour une direction donnée définie par un angle  $\alpha$  dont fait le faisceau lumineux avec la normale à la surface éclairée.

La luminance s'exprime en candela par mètre carré (cd / m<sup>2</sup>) et a pour symbole L.

$$L = \frac{dI}{dA \cos \alpha} \quad (4.3)$$

### **Facteur de réflexion d'une surface :**

C'est le rapport du flux lumineux réfléchi au flux incident. Ce facteur précise l'aptitude d'une surface à réfléchir de la lumière incidente.

### **Le plan utile ou plan de travail (Pu):**

C'est la surface de référence sur laquelle s'effectue normalement le travail. Dans un éclairage intérieur sauf indication contraire le plan utile, est horizontal et se situe à 0.85 m du plancher.

#### **IV.1- L'éclairage naturel :**

Grâce au soleil nous avons de la lumière naturelle tout au long de la journée, cette quantité est suffisante sur le plan horizontal à l'extérieur. Le soleil est la principale source d'éclairage naturel. En effet bien que la lumière provenant des étoiles soit perceptible, elle est insuffisante pour nous permettre sous leur seul éclairage, de distinguer les contours et les caractéristiques des objets. La lumière provenant des planètes est parfois suffisante pour ombre, c'est-à-dire créer une différence perceptible entre les faces éclairées directement et les autres. Ainsi avec le tableau IV -1, nous montrons les éclairagements de certaines sources de rayonnement.

| Conditions                   | Eclairage horizontal en lux |
|------------------------------|-----------------------------|
| Nuit sans lune               | Environ 1/3000              |
| Nuit en pleine lune          | 0,2                         |
| Brouillard (visibilité 500m) | 4000                        |
| Temps couvert, épais nuages  | 5000                        |
| Ciel couvert, nuages blancs  | 20000                       |
| Beau temps plein soleil      | 100000                      |
| Beau temps, soleil et nuages | 50000                       |

Tableau IV.1 : éclairage naturel [7]

Comme le montre le tableau II.1, la lumière du jour est fonction principalement du soleil mais aussi du type de ciel ; soit le ciel est couvert ou le ciel est serein. Ainsi nous allons essayer de déterminer la disponibilité de la lumière naturelle, en fonction de la latitude du lieu.

##### **IV.1.1- Disponibilité de la lumière du jour :**

Le soleil étant la principale source de lumière naturelle, la distribution de cette lumière dépend du type de ciel : couvert ou serein (clair).

##### **Ciel serein :**

Le ciel est dit serein; tel que la luminance d'un point soit le produit d'une fonction dépendant de son éloignement au soleil par celui de son d'une autre fonction dépendant de sa hauteur au dessus de l'horizon.

Ainsi nous avons la formule suivante :[7]



$$L_{\theta,\delta} = L_z \frac{[0,91 + 10 \exp(-3\delta) + 0,45 \times \cos^2 \delta] \times [1 - \exp(-0,32 \times \operatorname{cosec} \theta)]}{0,274 \times [0,91 + 10 \exp(-3E) + 0,45 \cos^2 E]} \quad (4.4)$$

Avec :  $\operatorname{cosec} \theta = \frac{1}{\cos \theta}$

Avec E : hauteur angulaire du Zénith au dessus du soleil

$L_z$  : Luminance au zénith

$\theta$  : hauteur angulaire au dessus de l'horizon du point du ciel considéré.

$\delta$  : Azimut du point considéré par rapport au soleil.

Pour aussi déterminer la luminance du ciel clair nous pouvons aussi utiliser des courbes d'isoluminances pour des hauteurs du soleil bien définies.

Ainsi nous avons les courbes suivantes :

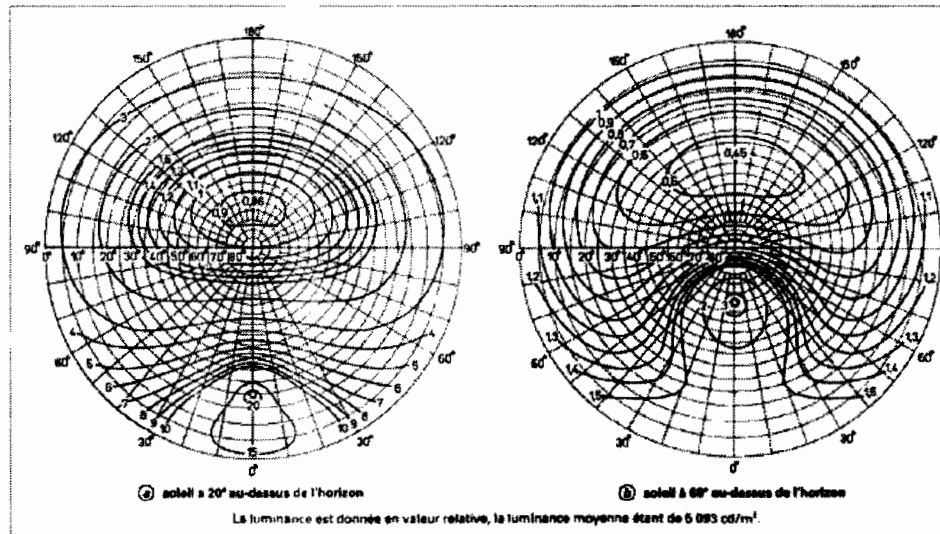


Figure IV.2 : Répartition des luminances du ciel serein.[7]

#### Ciels couverts :

Ces types de ciels sont plus fréquents et sont aussi variés. Ce type de ciel a une structure de luminance qui varie faiblement avec la hauteur du soleil. Ainsi deux types de ciels sont principalement utilisés : le ciel uniforme dont la luminance est considéré comme constante sur toute la voûte céleste ; le ciel de C.I.E (Commission Internationale d'Eclairage) ou ciel de Moon et Spencer qui est celui recommandé par la C.I.E.

Ainsi nous avons la formule (2.5) qui nous permet de déterminer la luminance en fonction de la hauteur angulaire au dessus de l'horizon et de la luminance au zénith.

$$L_{\theta} = \frac{1}{3} L_z (1 + 2 \sin \theta) \quad . [7] \quad (4.5)$$

$L_0$  : luminance à une hauteur angulaire au dessus de l'horizon

$L_z$  : luminance au zénith du ciel.

Etant recommandé par la commission internationale de l'éclairage, le ciel couvert sera utilisé pour la suite de l'étude. Ainsi grâce à la figure 4-3 nous pouvons déterminer l'éclairement d'un lieu en connaissant son l'altitude.

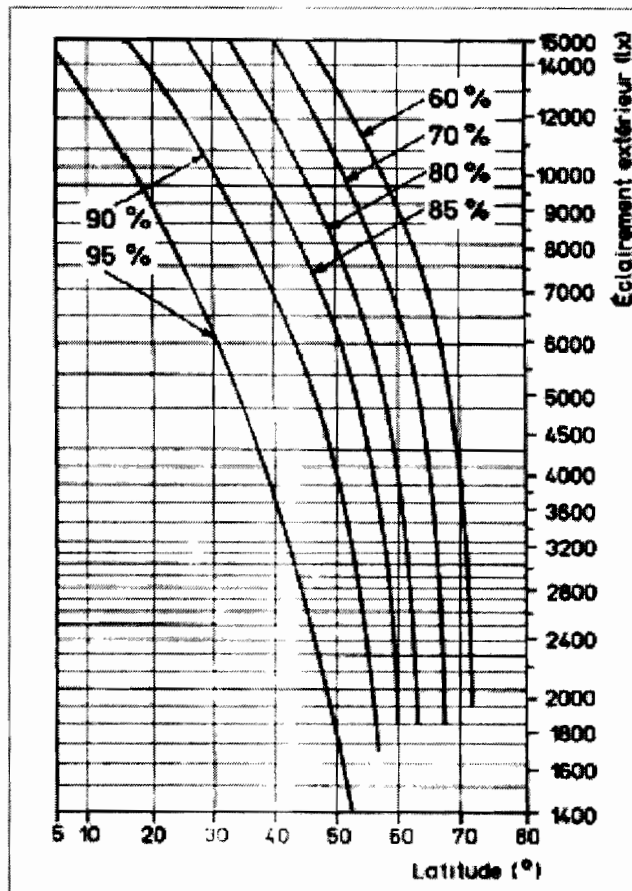


Figure 4.3 : Probabilité d'atteindre un certain niveau d'éclairement en fonction de latitude. [8]

Ces courbes nous donnent l'éclairement naturel minimal qu'on peut atteindre sur le plan horizontal, pour une latitude donnée de 9 h à 17 h. Nous pouvons aussi obtenir le niveau minimal d'éclairement pour d'autres fourchettes horaires différentes de 9 h à 17 h, grâce au tableau IV. 3.

| Ancien libellé       | 95              | 90  | 85 | 80 | 70 | 60 |
|----------------------|-----------------|-----|----|----|----|----|
| Fourchettes choisies | Nouveau libellé |     |    |    |    |    |
| 7 h à 15 h           | 95              | 90  | 85 | 80 | 70 | 60 |
| 8 h à 16 h           | 100             | 100 | 95 | 85 | 70 | 50 |
| 7 h à 17 h           | 95              | 85  | 75 | 65 | 55 | 45 |
| 6 h à 18 h           | 75              | 70  | 65 | 60 | 50 | 40 |

**Tableau II. 2:** Pourcentages à utiliser pour des fourchettes différentes de 9 h à 17 h sur la figure 4.3 [7]

En effet la disponibilité de la lumière naturelle, ne cause pas de problème car avec la figure 4-3 nous constatons que, pour Dakar (latitude : 14.5° Nord) nous avons un niveau d'éclairement de 12000 lux presque à 100% de huit heures à seize heures. Ainsi pour toute la période de travail nous disposons suffisamment de lumière à l'extérieur. Cependant sa bonne distribution dans le local est le principal problème.

#### **IV.1.2- La détermination de l'apport de l'éclairage naturel dans le bâtiment :**

La détermination de l'apport de l'éclairage naturel est un élément essentiel dans un projet d'éclairage. L'apport de l'éclairage naturel dépend de beaucoup de facteurs, parmi lesquels nous pouvons citer :

- Le type de ciel (couvert ou serein),
- L'orientation du bâtiment,
- Le type de vitrage utilisé (baie vitré, double vitrage etc.),
- De son environnement immédiat,
- Le type de fenêtre,

Le ciel est la principale source de lumière naturelle, et l'intensité d'éclairement dépend du type de ciel. Dans la suite des études nous utiliserons le ciel couvert (cas défavorable).

Pour ce qui de l'orientation, nous savons selon que la fenêtre se trouve au sud, au nord, à l'ouest ou à l'est ; n'est pas éclairée de la même manière. L'éclairement

direct est plus intense sur les façades orientées *est* ou ouest, tandis les façades situées du coté sud ou nord subissent un éclairage plus régulier et moins intense. Cependant étant donné que nous utilisons un ciel couvert, ce qui nous permet de déterminer l'éclairage intérieur sans tenir compte de l'orientation des fenêtres.

Le choix du type de vitrage est primordial lors de la conception du bâtiment, tant sur le plan des apports thermiques comme pour les apports en lumière naturelle. Le choix du vitrage est rendu difficile par le fait qu'il assure deux rôles difficiles à concilier, à savoir le transfert thermique et l'apport en lumière naturelle. Pour ce qui est du vitrage nous utiliserons un double vitrage dont les caractéristiques sont les suivantes : [9]

- Epaisseur : 24 mm
- Facteur de la lumière du jour (C2) : 0,2
- Coefficient  $K = 1.7 \text{ W/m}^2\text{°C}$

L'environnement immédiat réfléchit une partie de la lumière dans le bâtiment. Cette partie de lumière est tenue en compte dans le facteur de lumière de jour, dont il est l'un des composants.

La disposition des fenêtres est importante pour la détermination du facteur de la lumière du jour. Selon leur disposition, nous avons différents abaques, qui nous permettent d'avoir le facteur de la lumière du jour. Mais aussi le facteur de la lumière est fonction des dimensions (hauteur, longueur) de la fenêtre

#### **IV1. 2.1- Facteur de lumière du jour :**

Le facteur de la lumière du jour (ou Daylight factor) est la proportion de la lumière extérieure transmise dans le local. Il a principalement trois composantes que sont :

- La composante directe (ou sky component : SC), elle est fonction seulement d'éclairage sur le plan horizontal à l'extérieur.
- La composante réfléchie externe (ERC : external reflected component) c'est la proportion de lumière réfléchie par l'environnement visible depuis le point considéré dans le local.
- La composante réfléchies interne (IRC : internal reflected component) c'est la proportion de lumière réfléchie par les surfaces intérieures du local.

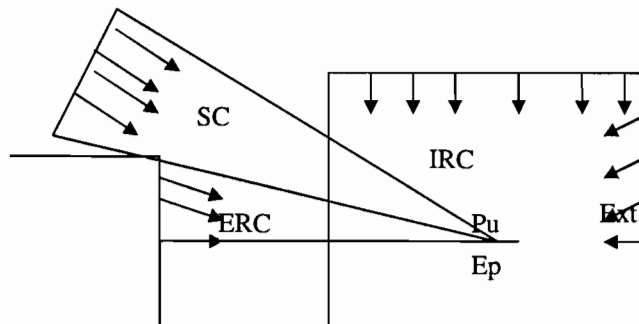


Figure.4. 4 : composantes du facteur de la lumière du jour.

Pour la détermination de l'éclairage dans les locaux, il existe plusieurs méthodes qui ont été développées, qui sont toutes des méthodes de vérifications. Ces méthodes sont :

- Le calcul : qui consiste à utiliser les formules du rayonnement thermique qu'on applique au rayonnement lumineux, car les deux sont semblables.
- La méthode d'évaluation rapide : qui utilise les abaques donnés par Cadiergues pour déterminer le facteur de la lumière du jour, en fonction des différents dispositifs au niveau des baies. C'est aussi cette méthode qui est recommandée par la C.I.E pour la détermination du facteur de la lumière du jour. Par conséquent elle sera utilisée dans la suite des calculs
- La méthode graphique : elle se base sur un dessin en perspective du milieu extérieur vu depuis le point où il s'agit de déterminer le facteur de la lumière du jour. Cette méthode fournit la composante directe, grâce à une perspective graduée du ciel ; aussi moyennant une certaine approximation du facteur de réflexion des masques, la composante de réflexion interne. elle utilise deux procédures de calcul que sont :
  - La méthode de Gouffé et Cadiergues.
  - La méthode de la norme allemande.

La méthode d'évaluation est celle recommandée par la C.I.E ; elle permet de déterminer le facteur de lumière du jour rapidement seulement en utilisant des abaques.

Cependant le facteur de la lumière du jour fourni par ces abaques est pour un vitrages simple sans protection (épaisseur 3mm) contre le soleil ; d'où la nécessité de lui appliquer des facteurs de correction en fonction des paramètres utilisés (double vitrage, vitre réfléchissant, pare soleil, obstacle extérieur)

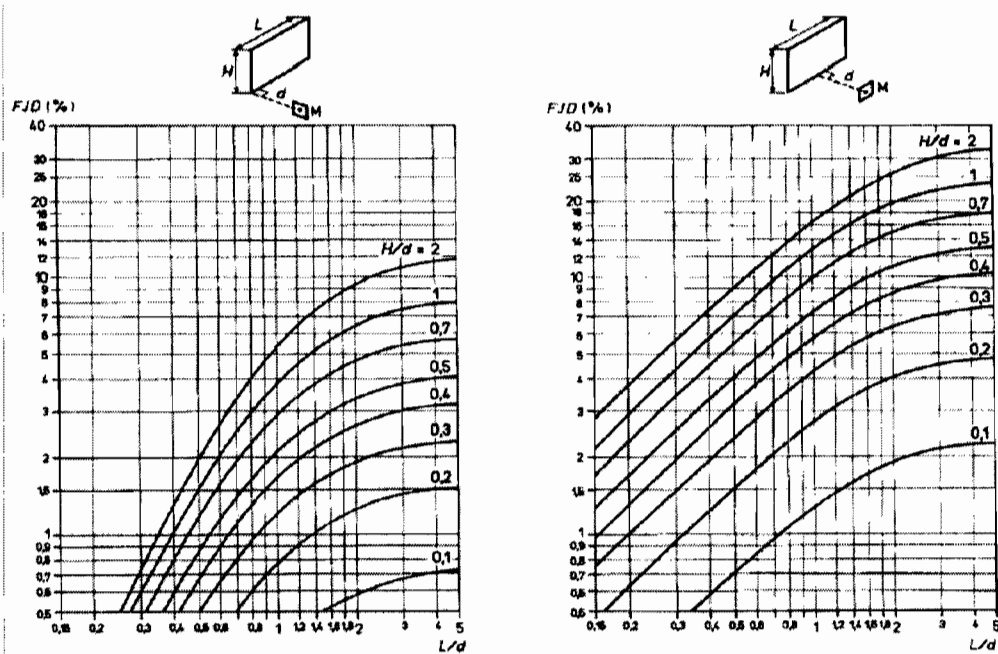


Figure.4.5 : facteur de la lumière du jour pour des baies rectangulaires en façade et pour différents plans d'observation [7]

Grâce à la hauteur et la longueur de la fenêtre ; associées à la profondeur du local nous pouvons obtenir le facteur de la lumière du jour, pour un plan d'observation bien défini. Mais ce facteur sera corrigé pour tenir compte des propriétés des différents vitrages au niveau des fenêtres. Ainsi nous pour FJD déterminer par les abaques nous aurons le FJDu qui sera égal à :

$$FJ_u = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \times FJ = C \times FJ \quad (4.6)$$

où :

$$C = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \quad (4.7)$$

$$D'où \quad E = FJ_u \times E_{ext} \quad (4.8)$$

Avec :

E : l'éclairement dans le local

$E_{ext}$  : l'éclairement sur le plan horizontal à l'extérieur

FJu : facteur de la lumière du jour utile

C = facteur de correction totale.

$C_1$  = facteur de correction pour obstacle extérieur.

La méthode CIE fournit des abaques de cette correction ; dans notre cas nous n'avons pas d'obstacle d'où  $C_1 = 1$

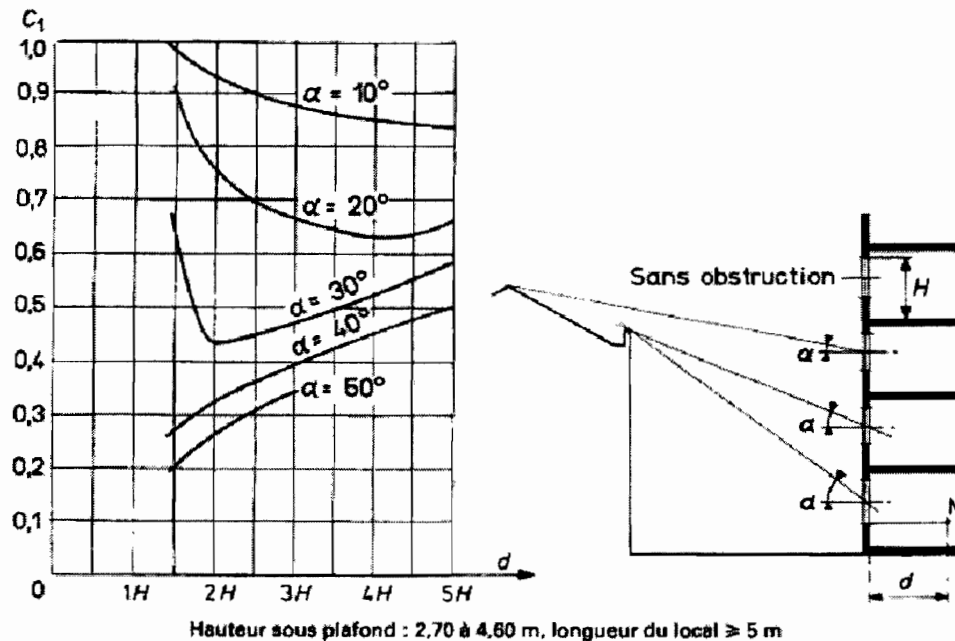


Figure.4.6 : facteur de correction  $C_1$  pour obstacle extérieur dans le cas de fenêtre unilatéral. [7]

Ce facteur s'applique à un point situé à une distance  $d$  de la fenêtre.

$C_2$  = facteur de correction pour le type de vitrage.

Ce facteur peut être estimé en faisant la moyenne arithmétique entre les facteurs de transmission en incidence normale et en incidence diffuse ; ce qui est recommandé par la CIE.

Car le facteur de transmission de lumière ne varie pas de la même manière en fonction que le vitrage est, teinté, réfléchissant, filtrant etc. Par ailleurs ce facteur est aussi donné par les constructeurs.

$C_3$  = facteur de correction pour empoussièrement et salissement.

Des valeurs nous sont fournies par la commission internationale de l'éclairage (CIE) en fonction du milieu (localisation) des fréquences de salissement, des conditions intérieures et de l'angle d'inclinaison de la fenêtre.

| Conditions extérieures              |                                                                         | Conditions intérieures     |                                                        | Inclinaison du vitrage<br>par<br>rapport à l'horizontal |              |              |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| Localisation                        | Degré de<br>Salissement<br>de la<br>Surface<br>extérieure<br>Du vitrage | Nature<br>de<br>l'activité | Degré de<br>Salissement<br>de la surface<br>intérieure | 0 à<br>30°                                              | 45 à<br>60°  | 75 à<br>90   |
| Région rurale<br>ou zone suburbaine | faible                                                                  | Propre<br>sale             | Faible<br>élevé                                        | 0,85<br>0,55                                            | 0,85<br>0,60 | 0,90<br>0,70 |
| Zone urbaine ou<br>résidentielle    | moyen                                                                   | Propre<br>Sale             | Faible<br>élevé                                        | 0,70<br>0,40                                            | 0,75<br>0,5  | 0,80<br>0,6  |
| Zone industrielle                   | élevé                                                                   | Propre<br>sale             | Faible<br>élevé                                        | 0,55<br>0,25                                            | 0,60<br>0,35 | 0,70<br>0,50 |

**Tableau IV .3** : facteur de correction  $C_3$  pour tenir compte de l'empoussièrement [7]

$C_4$  = facteur de correction pour la réflexion des parois internes

Ce facteur est donné sous forme de tableau en fonction du facteur moyen de réflexion du vitrage. Si le facteur moyen de réflexion est supérieur à 40 % prendre  $C_4 = 1,2$

| Facteur moyen de réflexion (%) | Facteur de correction |
|--------------------------------|-----------------------|
| 15                             | 0,95                  |
| 20                             | 1                     |
| 25                             | 1,05                  |
| 30                             | 1,10                  |
| 35                             | 1,15                  |
| 40                             | 1,20                  |

**Tableau IV.4:** correction du facteur moyen de réflexion [7]



$C_5$  = facteur de correction pour tenir compte du type de menuiserie.

Ce facteur est le rapport de la surface transparente du vitrage sur la surface totale de la fenêtre, mais il existe des valeurs qui sont données par la C.I.E pour les différents types de menuiseries.

Ainsi nous avons les valeurs suivantes :

Menuiserie en bois  $C_5 = 0,75$

Pour les menuiseries métalliques  $C_5 = 0,85$

Nous avons de la menuiserie métallique, donc  $C_5 = 0,85$

Pour le calcul de l'éclairement naturel dans le bâtiment, nous allons diviser ce dernier par 4 zones principales :

Zone 1 : sous sol

Zone 2 : rez de chaussée

Zone 3 : étage 1

Zone 4 : étage 2

Ces zones principales seront divisées à leur tour, en des zones secondaires. Ces zones secondaires sont les différents compartiments du bâtiment ; et les calculs se feront sur ces zones.

Pour la détermination des apports en éclairage dus à la lumière naturelle, nous allons étudier le bâtiment compartiment par compartiment (pièce par pièce). Ainsi nous déterminerons le facteur de la lumière du jour grâce aux abaques cités auparavant. Ici nous avons une particularité d'avoir des baies situés haut par rapport au plan utile (Pu) au niveau du sous sol, ce qui nous pousse à utiliser la figure II.6, qui nous permet d'avoir le facteur de la lumière du jour en fonction de ce type de baie.

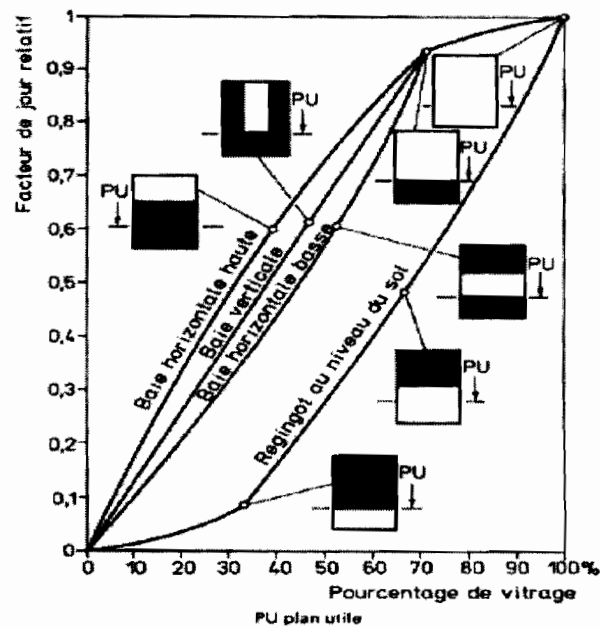


Figure.4.7 : influence de la disposition des baies sur le facteur du jour et de l'éclairage intérieur. [7]

#### IV.1.2.1.1- Sous sol :

Pour le calcul de l'éclairage  $E$  apporté par la lumière du jour, nous avons multiplié le facteur de la lumière du jour par trois ; du fait du nombre de fenêtres qui s'élève à trois.

| Locaux        | FJ    | C       | FJ <sub>U</sub> | E       |
|---------------|-------|---------|-----------------|---------|
| salle sport   | 0,20% | 0,68425 | 0,001369        | 49,266  |
| salle archive | 0,08% | 0,68425 | 0,000547        | 19,7064 |

Tableau IV.5 : valeur du facteur du jour pour les locaux du sous sol

#### IV.1.2.1.2- Le rez de chaussée :

Au niveau des trois bureaux, ils sont séparés par une cloison en menuiserie d'aluminium. Nous avons effectué le calcul pour un local sans séparation et nous considérons que chaque bureau pourra avoir le même niveau d'éclairage après leur séparation.

Pour ce du pool informatique nous en avons deux salles dont la disposition et les dimensions des fenêtres sont identiques, ce qui fait, qu'ils auront le même niveau d'éclairement.

| Locaux                      | FJ (%) | C      | FJ <sub>U</sub> | E        |
|-----------------------------|--------|--------|-----------------|----------|
| salle réunion               | 19,2   | 0,0978 | 2%              | 225,216  |
| Bureau directeur commercial | 16,3   | 0,0978 | 2%              | 191,199  |
| les 3 bureaux               | 14,1   | 0,0978 | 1%              | 165,393  |
| pool informatique           | 26     | 0,0978 | 3%              | 304,98   |
| hall exposition             | 12,25  | 0,0978 | 1%              | 143,6925 |

**Tableau IV.6** : valeur du facteur du jour au niveau du rez de chaussée.

#### IV.1.2.1.3- L'étage 1 :

| Locaux              | FJ (%) | C      | FJ <sub>U</sub> | E     |
|---------------------|--------|--------|-----------------|-------|
| bureau1 (6)         | 24,77  | 0,0978 | 2,4213          | 290,6 |
| Bureau 2(3, 4,5)    | 8,6    | 0,0978 | 0,8407          | 100,9 |
| salle réunion       | 21,4   | 0,0978 | 2,0919          | 251   |
| secrétariat attente | 12,3   | 0,0978 | 1,2023          | 144,3 |
| espace restaurant   | 9,5    | 0,0978 | 0,9286          | 111,4 |
| cuisine             | 35,5   | 0,0978 | 3,4701          | 416,4 |

**Tableau IV.7** : valeur du facteur du jour au niveau de l'étage 1.

Les bureaux 1 et 6 ont les mêmes types de fenêtres (dimensions, disposition) ce qui fait que leur niveau d'éclairement est identique. C'est le même cas pour les bureaux 2 ; 3 ; 4 ; 5 qui ont eux aussi le même niveau d'éclairement.

Nous constatons que l'éclairement au niveau de la cuisine dépasse les besoins pour ce type de lieu d'où la nécessité d'utiliser des rideaux ou des stores pour essayer de diminuer l'éblouissement dans cet endroit.

#### IV.1.21.4- Etage 2 :

| locaux             | FJ (%) | C      | FJ <sub>U</sub> | E     |
|--------------------|--------|--------|-----------------|-------|
| DG<br>bureau       | 17.6   | 0.0978 | 1.72            | 206.4 |
| DG<br>chambre      | 17     | 0.0978 | 1.66            | 199.4 |
| Archive            | 10.8   | 0.0978 | 1.06            | 126.7 |
| salle<br>réunion 1 | 17.6   | 0.0978 | 1.72            | 206.4 |
| secrétariat        | 6.8    | 0.0978 | 0.66            | 79.76 |
| salle<br>réunion 2 | 27.6   | 0.0978 | 2.7             | 323.7 |

Tableau IV.8 : valeur du facteur du jour au niveau de l'étage 2

#### IV.2- Eclairage électrique :

Ainsi, après avoir étudié l'éclairage naturel ; nous allons nous attaquer à l'éclairage électrique ce qui nous permettra de pouvoir estimer l'apport de l'éclairage naturel en terme d'économie d'énergie.

L'éclairage électrique est indispensable pour le confort des usagers dans les bâtiments ; car l'éclairage naturel est insuffisant à lui seul pour satisfaire les besoins en confort visuel.

##### IV.2.1- Le matériel :

Pour le calcul de l'éclairage électrique nous allons utiliser plusieurs types de lampes. Ces lampes seront choisies en fonction de leurs caractéristiques, que sont, la puissance, le prix, la durée de vie et aussi leur efficacité lumineuse. Ainsi nous avons les types de lampes suivantes.

##### IV.2.1.1- Les lampes à incandescences :

Constituée d'un filament en tungstène qui est chauffé à blanc dans une ampoule remplie de gaz rare, (argon, quelquefois même du krypton) ce gaz permet de réduire l'échauffement du filament. Les lampes à incandescence ont l'avantage d'avoir un prix

très faible, cependant leur durée de vie très faible est de l'ordre 1000 heures. Et aussi ces lampes ne supportent pas les variations de tension, qui diminuent considérablement leur durée de vie. Elles ont une efficacité lumineuse très faible qui est de l'ordre de 10 à 20 lm / W.

Ces lampes sont alimentées sous une tension de 220 Volt et les puissances disponibles sont : 40, 60, 75, 100, 150, 200, 300 W.

Les lampes à incandescences sont utilisées surtout dans l'éclairage domestique, du fait de leur facilité d'emploi et de leur prix faible, mais aussi dans certains bâtiments administratifs.

#### **IV.2.1.2- Les lampes aux halogènes :**

Ces lampes sont une variété des lampes à incandescences la différence réside dans la composition du gaz rare qui remplit l'ampoule. En plus du gaz rare l'ampoule contient une petite quantité d'un halogène (vapeur d'iode). Quand le filament en tungstène est chauffé par le courant électrique, une petite quantité de ce tungstène s'évapore et crée cette vapeur d'iode. Ce qui provoque une réaction dans la partie la plus froide de la lampe pour donner de l'iodure de tungstène qui reste à l'état de vapeur. Comme le filament en tungstène a une température très élevée, l'iodure de tungstène se décompose à nouveau sur celui-ci pour reformer le tungstène et l'iode. Le cycle se poursuit ainsi de suite tant que la lampe est allumée. Le rendement d'une lampe halogène est deux fois plus élevé, et sa durée de vie est 5 fois plus longue qu'une lampe à incandescence. L'avantage de ce type de lampe se caractérise par une lumière très vive et très brillante, la brillance ne varie quasiment pas durant sa vie. Ces lampes sont surtout utilisées comme des projecteurs.

#### **IV.2.1.3- Les lampes fluo compactes :**

Les lampes fluo compactes sont encore appelées lampes d'économie d'énergie grâce à leur faible puissance. Ces lampes ont le même domaine d'application que les lampes à incandescences courantes. Cependant ces lampes ont un prix élevé par rapport aux lampes à incandescence courantes ; d'où la nécessité de faire une étude comparative qualité prix avant toute utilisation de ces lampes. Elles ont aussi une durée de vie qui est de l'ordre de 3 à 5 fois que celle de lampes à incandescence ; le rendu de couleur de ces lampes est très bon. Cependant ces lampes ne supportent pas les allumages très rapprochés c'est-à-dire les éteindre et les rallumer tout juste après ; il leur faut au moins un temps de

battement de deux minutes environs. Ces lampes atteignent leur puissance maximale lentement une minute à deux minutes environ ce qui fait que ces lampes ne sont pas utilisées dans les endroits où les passages risquent d'être brefs. Les puissances les plus utilisées sont 7, 11, 15, et 20 W.

Nous avons une certaine correspondance entre les lampes fluo compactes et celles à incandescence courantes.

| Lampe fluo compacte<br>P en W | Lampe à incandescence courante<br>P en W |
|-------------------------------|------------------------------------------|
| 7                             | 40                                       |
| 11                            | 60                                       |
| 15                            | 75                                       |
| 20                            | 100                                      |

Tableau IV.9 : de correspondance entre les puissances d'une lampe fluo compacte et celle à incandescence (courante) (catalogue DILUX).

#### **IV.2.1.4- Lampes tubulaires fluorescentes :**

Le principe de la fluorescence est simple. Il suffit de produire une décharge électrique dans un tube en verre qui contient de la vapeur de mercure à basse pression, ce qui provoque un phénomène de luminescence principalement dans l'ultra - violet donc faiblement visible. Ce phénomène est dû à une poudre électroluminescente recouvrant l'intérieur du tube de verre. Celle-ci transforme ce rayonnement en lumière visible selon le principe de la fluorescence. Ces lampes ne produisent qu'une très faible chaleur, c'est pour cela qu'elles consomment 5 fois moins d'énergie et durent jusqu'à 15 fois plus longtemps que les lampes à incandescence classique. Soixante dix pour cent (70 %) de la lumière artificielle utilisée dans le monde est générée par les tubes fluorescents. Les lampes fluorescentes ont la particularité d'avoir une très bonne efficacité lumineuse qui va souvent jusqu'à 80 lm / W et aussi une bonne durée de vie de 10 000 heures dans les bonnes conditions. Les principaux types de lampes fluorescentes sont les lampes de longueur 0,6 m pour une puissance de 18 W (20 W) et celle de 1,2 m pour une puissance de 36 W (40W).

#### **IV.2.1.5- Les luminaires :**

Les luminaires contiennent les éléments dont les lampes ont besoin pour leur

fonctionnent. Les luminaires sont conçus en général pour un type de lampe spécifique. Pour les besoins de sécurité AFNOR (association française de normalisation) a fixée des normes que les constructeurs de luminaires doivent respecter. Ainsi nous disposons selon cette norme de quatre classes de luminaires que sont :

➤ Classe 0 :

Ces luminaires n'ont qu'une isolation fonctionnelle c'est-à-dire une protection normale contre tout contact avec les éléments sous tension. C'est le cas des luminaires des habitations.

➤ Classe 1 :

Ces luminaires ont une isolation fonctionnelle mais aussi une borne de mise à la terre.

➤ Classe 2 :

Ces luminaires ont une double isolation (sans borne de mise à la terre). Ces luminaires sont imposés lorsqu'il y a des risques particuliers par exemple dans les salles d'eau.

➤ Classe 3 :

Ces luminaires sont alimentés en basse tension de sécurité. Ces luminaires sont surtout utilisés dans les locaux humides et dangereux.

Dans le cadre de ce projet nous utiliserons principalement les luminaires de classe 0 et éventuellement ceux de la classe 1.

#### **IV.2.2- le dimensionnement de l'éclairage électrique :**

Pour le dimensionnement de l'éclairage électrique dans le bâtiment, nous allons utiliser la norme française en ce qui concerne le niveau de l'éclairement et la disposition de luminaire. Pour ce qui est de la disposition des luminaires, la méthode régulière a été retenue. Elle consiste à disposer les luminaires de manière régulière dans le local, c'est-à-dire ils sont disposés à distance égale les uns des autres. Ainsi pour un niveau d'éclairement adéquat nous devons respecter les valeurs suivantes d'éclairement, en fonction des locaux. Ces valeurs sont données par le tableau IV.11.

| type d'éclairage                   | Eclairement<br>(lux) | applications                                                             |
|------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Général (lieux de travaux continu) | 150                  | Voie de circulation intérieure.<br>Escaliers<br>magasins                 |
|                                    | 200                  | Minimum pour une tâche visuelle.                                         |
|                                    | 300                  | Grosse mécanique, tâche industrielle,<br>diverses<br>Lecture et écriture |
|                                    | 500                  | Mécanique moyenne.<br>Imprimerie ; dactylographie<br>Travaux de bureaux. |
|                                    | 750                  | Bureau de dessin<br>mécanographie                                        |
|                                    | 1000                 | Mécanique fine<br>Comparaison des couleurs.<br>Dessins difficiles        |
| Général ou Localisé                | 1500                 | Mécanique de précision.<br>Electronique fine.<br>Contrôle divers.        |
| localisé                           | > 2000               | Tâches très difficiles dans l'industrie, en<br>laboratoire.              |

Tableau IV. 10 : Eclairage recommandé. [7]

#### IV.2.2.1- La méthode de calcul.

Pour calculer le niveau de l'éclairage dans le local, nous allons déterminer le flux lumineux  $\Phi$ , ce flux est obtenu grâce à la formule suivante :

$$\Phi = L \times l \times E \quad (4.9).$$

Avec : L : longueur du local

l : largeur du local

E : le niveau d'éclairage recommandé.



Nous devons aussi déterminer l'indice (K) du local qui est donné par la formule suivante :

$$K = \frac{L \times l}{h \times (l + L)} \quad (4.10)$$

Avec : h hauteur des luminaires par rapport au plan utile.

Ainsi grâce aux caractéristiques du local c'est-à-dire le facteur de réflexion des murs et du plafond, que nous pouvons déterminer le facteur d'utilisation U. Ce facteur d'utilisation nous permet déterminer le flux généré par les luminaires.

Le flux généré par les luminaires (F) est donné par :

$$F = \frac{\Phi}{U} \quad (4.11)$$

Si f est le flux généré par un luminaire et N le nombre de luminaires nous avons :

$$F = N \times f \quad (2.10).$$

Ce qui donne :

$$N = \frac{F}{f} \quad (4.12)$$

Le flux généré par le luminaire est fonction du type de lampes et du nombre de lampes qu'il contient. Le flux lumineux généré par une lampe est donné par le constructeur.

En effet une fois que nous avons type de réflecteur du luminaire et sa classe nous pouvons avoir la distance (e) entre deux luminaires.

#### **IV.2.2.2- calcul de l'éclairage :**

Le calcul de l'éclairage s'effectuera selon la méthode que nous avons énoncée précédemment et le nombre de lampes dans un luminaire est de deux (2) pour les tubes fluorescents.

##### **IV.2.2.2.1- le sous sol :**

Pour déterminer l'éclairement au niveau du sous sol, nous utilisons les zones que nous avons définies pour le calcul de l'éclairage naturel. Ainsi nous procéderons local par local et la méthode de calcul est celle définie au niveau du chapitre 4.2.1.

-La salle de sport :

Pour la norme française le niveau d'éclairage recommandé dans une salle de sport est de 250 lux, pour pouvoir satisfaire le confort des usagés.

Les dimensions de la salle sont les suivantes :

Longueur = 18,8 m

Largeur = 9,4 m

Hauteur des luminaires par rapport au plan utile = 3 m

Ainsi le flux lumineux nécessaire pour satisfaire les bonnes conditions de fonctionnement est de  $\Phi_u = 44\,180$  lumens.

L'indice du local K qui est de 2, les caractéristiques des murs à savoir le facteur de réflexion est de 70 % et celui du plafond de 50 %. Ce qui nous permet avec des réflecteur de classe D d'avoir le facteur d'utilisation qui est fonction de l'indice du local et des caractéristiques des murs et du plafond, d'où  $U = 0,78$ . En utilisant des réflecteurs de rendement 83 % nous obtenons le flux que les lampes doivent apporter. Ce flux (F) est égal à 68 242 lumens.

Si nous utilisons des tubes fluorescents de 1,2 m, qui ont un flux lumineux de 2 800 lumens ; d'où le nombre de lampes nécessaires est de 24 lampes.

Cette même procédure sera employée pour effectuer les calculs au niveau des autres locaux.

| Locaux          | Nombre de lampes installées | Type de lampes    | Puissance de la lampe (W) |
|-----------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|
| Salle sport     | 24                          | Fluorescent 1,2 m | 36                        |
| Archive         | 18                          | Fluorescent 1,2 m | 36                        |
| Parking         | 21                          | Fluorescent 1,2 m | 36                        |
| Vestiaire       | 11                          | Incandescence     | 60                        |
| Salle d'attente | 42                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Toilette        | 6                           | incandescence     | 60                        |

Tableau IV .11 : nombre de lampes installées dans les locaux du sous sol.

Ainsi nous avons pour le sous sol :

Tubes fluorescents de 1,2 m : 63 lampes

Tubes fluorescents de 0,6 m : 42 lampes

Lampe à incandescence de 60 W : 17 lampes

Ce qui nous donne une puissance à installer de 4,044 kW.

#### IV.2.2.2.2- Le rez de chaussée :

Pour le rez de chaussée nous avons le tableau II-13 qui nous permet d'avoir le nombre de lampes à installer, en ne tenant pas compte de l'éclairage naturel.

| Locaux                      | Nombre de lampes installées | Type de lampes    | Puissance de la lampe (W) |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|
| Salle de réunion            | 42                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Bureau directeur commercial | 20                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Secrétariat com.            | 20                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Bureau                      | 42                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Secrétariat                 | 42                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Pool info                   | 54                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Hall exposition             | 54                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Attente                     | 12                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Toilettes                   | 12                          | incandescence     | 60                        |

Tableau IV .12 : nombre de lampes installées dans les locaux du rez de chaussée

Il faudra noter qu'il existe deux pools informatiques et deux halls d'exposition au niveau du rez de chaussée.

Le nombre de lampes fluorescentes installées au niveau du rez de chaussée, s'élève à 382 lampes fluorescentes de 18 W; et douze (12) lampes à incandescence courante de 60W. Ce qui nous donne une puissance totale installée de 7,812 kW.

#### IV.2.2.2.4- L'étage 1 :

Pour l'étage 1 nous avons le tableau II-14, qui nous permet d'avoir le nombre de lampes dans chaque local.

| locaux      | Nombre de lampes installées | Type de lampes    | Puissance de la lampe (W) |
|-------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|
| Bureaux     | 36                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Secrétariat | 70                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Restaurant  | 42                          | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| Cuisine     | 8                           | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| sas         | 3                           | Fluorescent 0,6 m | 18                        |
| toilettes   | 12                          | incandescence     | 60                        |

Tableau IV.13 : nombre de lampes installées dans les locaux de l'étage 1

Le nombre de lampes fluorescentes de 18 W installé au niveau de l'étage 1, s'élève à 340 lampes et douze (12) lampes à incandescence de 60 W ; pour une puissance totale de 6,84 kW.

#### IV.2.2.2.5- étage 2 :

Comme au niveau des autres zones du bâtiment, nous aurons le tableau IV.14

| locaux              | Nombre de lampes installées | Type de lampes     | Puissance de la lampe (W) |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------|
| Bureau DG           | 30                          | Lampes pour lustre | 18                        |
| Secrétariat attente | 70                          | Fluorescent 0,6 m  | 18                        |
| archive             | 7                           | Fluorescent 0,6 m  | 18                        |
| chambre             | 5                           | incandescence      | 60                        |
| Salle réunion 1     | 90                          | Fluorescent 0,6 m  | 18                        |
| Salle réunion 2     | 42                          | Fluorescent 0,6 m  | 18                        |
| espace              | 4                           | incandescence      | 60                        |
| SDB (DG)            | 6                           | incandescence      | 60                        |
| toilette            | 8                           | incandescence      | 60                        |

Tableau IV .14 : nombre de lampes installées dans les locaux de l'étage 2.

Le nombre de lampes fluorescentes (18W) installé au niveau de l'étage 2, s'élève à 210 lampes, 23 lampes à incandescence (60W) ; et trente (30) lampe pour lustre au niveau du bureau du directeur ; pour une puissance totale de 6,06 kW.

En effet, le calcul de l'éclairage artificiel sans tenir compte de l'éclairage naturel nous donne :

Nombre de lampes fluorescentes 0,6 (18 W) : 974

Nombre de lampes fluorescentes 1,2 (36 W) : 63

Nombre de lampes à incandescence : 55

Nombre de lampes pour lustre : 30

Nombre lampes fluo compactes (15 W) : 16

Les lampes fluo compactes ne sont pas utilisées à la place des lampes à incandescence, parce que pour un bon rendement des fluo compactes il faut qu'ils fonctionnent pendant trois heures au moins. Ce qui fait nous ne pouvons pas les installées dans des locaux qui ne sont pas éclairés que par intermittence (toilettes, vestiaires, salle de bain). Ainsi ces lampes pourront être installées pour l'éclairage extérieur du bâtiment la nuit.

#### **IV.3- Eclairage électrique en apport à l'éclairage naturel :**

L'éclairage électrique a pour fonction principale de servir d'appoint à l'éclairage naturel lorsque celui-ci est insuffisant. Ainsi pour tenir compte de l'éclairage naturel, nous utiliserons les trois quarts du flux lumineux apporté par la lumière du jour dans le local. Pour éviter le cas ou des rideaux ou des voilages seront mis en place dans le local. Ce qui nous permettra d'avoir un niveau d'éclairement répondant aux besoins dans les cas le plus défavorables souvent (exception faite des mauvais temps : pluie, orage).

La méthode de calcul sera la même que celle que nous avons utilisé pour le calcul de l'éclairage artificiel. Nous ne faisons pas une combinaisons de l'éclairage électrique et naturel au niveau des locaux du sous sol. Pour la simple raison que l'apport en éclairage naturel est faible au niveau du sous sol.

Nous pouvons résumer la combinaison de l'éclairage électrique et naturel sous forme de tableau (voir annexe 4.3).

##### **IV.3.1- Rez de chaussée :**

Au niveau du rez de chaussée nous avons un bon niveau d'éclairement naturel, cependant il est insuffisant pour satisfaire aux conditions de la norme internationale sur

les lieux de travail. Par ailleurs en tenant compte de l'apport de la lumière du jour nous obtenons le tableau IV.16 qui donne le nombre de lampes à installer au niveau de chaque local.

| locaux                      | Nombre de lampes installées | Type de lampes    | Puissance de la lampe |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------|
| Salle de réunion            | 24                          | Fluorescent 0,6 m | 18                    |
| Bureau directeur commercial | 16                          | Fluorescent 0,6 m | 18                    |
| Secrétariat                 | 20                          | Fluorescent 0,6 m | 18                    |
| Bureau                      | 30                          | Fluorescent 0,6 m | 18                    |
| Secrétariat bureau          | 30                          | Fluorescent 0,6 m | 18                    |
| Pool info                   | 24                          | Fluorescent 0,6 m | 18                    |
| Hall exposition             | 42                          | Fluorescent 0,6 m | 18                    |
| attente                     | 12                          | Fluorescent 0,6 m | 18                    |
| toilettes                   | 12                          | incandescence     | 60                    |

**Tableau IV.15 :** nombre de lampes installées dans les locaux du rez de chaussée en considérant la lumière du jour.

Ainsi nous passons de 382 tubes fluorescents à 256, ce qui engendre un gain en énergie de 2.268 kW.

#### IV.3.2- l'étage 1 :

| locaux        | Nombre de lampes installées | Type de lampes    | Puissance de la lampe |
|---------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------|
| Bureau 1 ou 6 | 12                          | Fluorescent 0,6 m | 18 W                  |
| Bureau 2 à 5  | 28                          | Fluorescent 0,6 m | 18 W                  |
| Secrétariat   | 42                          | Fluorescent 0,6 m | 18 W                  |
| Restaurant    | 12                          | Fluorescent 0,6 m | 18 W                  |
| Cuisine       | 1                           | Fluorescent 0,6 m | 18 W                  |
| Sas           | 3                           | Fluorescent 0,6 m | 18 W                  |
| toilettes     | 12                          | incandescence     | 60 W                  |

**Tableau IV .16 :** nombre de lampes installées dans les locaux de l'étage 1 en considérant la lumière du jour

Ainsi nous passons de 340 tubes fluorescents à 201, ce qui engendre un gain en énergie de 2,502 kW.

#### IV.3.3- Etage 2 :

| locaux                 | Nombre de lampes installées | Type de lampes     | Puissance de la lampe |
|------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| Bureau DG              | 16                          | Lampes pour lustre | 55 W                  |
| Secrétariat<br>attente | 54                          | Fluorescent 0,6 m  | 18 W                  |
| archive                | 1                           | Fluorescent 0,6 m  | 18 W                  |
| chambre                | 2                           | incandescence      | 60 W                  |
| Salle réunion 1        | 48                          | Fluorescent 0,6 m  | 18 W                  |
| Salle réunion 2        | 12                          | Fluorescent 0,6 m  | 18 W                  |
| espace                 | 4                           | incandescence      | 60 W                  |
| Salle de bain<br>(DG)  | 6                           | incandescence      | 60 W                  |
| toilette               | 8                           | incandescence      | 60 W                  |

Tableau IV.17: nombre de lampes installées dans les locaux de l'étage 2 en considérant l'éclairage naturel.

Ainsi nous passons de 210 tubes fluorescents de 18 W à 119, et aussi de trente (30) à seize (16) lustres ce qui engendre un gain en énergie de 2,408 kW

Cependant cette différence n'est pas réellement celle qu'on économise en tenant compte de l'éclairage naturel. Il faudra faire une étude économique en prenant en compte les facteurs d'utilisation au niveau de chaque local.

#### IV.4- Etude économique :

Pour pouvoir bien cerner les économies réalisées en tenant compte de l'éclairage naturel, il faut attribuer des facteurs d'utilisation aux différents locaux. Ce facteur d'utilisation des luminaires du local sera déterminé en fonction du temps de fonctionnement journalier de ce local.

Ainsi nous supposons que les salles de réunion sont utilisées une heure par jour en moyenne soit un facteur d'utilisation de 0,125, exception faite salle de réunion 1 au deuxième étage qui fonctionnera deux heures en moyenne.

Pour les vestiaires nous considérerons un temps d'utilisation de deux heures par jour soit un facteur d'utilisation de 0,25. Pour ce qui concerne les toilettes nous supposons un facteur d'utilisation de 0,25 soit deux de fonctionnement dans la journée.

#### **IV.4.1- La diminution de l'investissement :**

En considérant la lumière du jour dans le calcul de l'éclairage des locaux, nous réalisons des économies sur l'investissement. Cette économie est réalisée sur les lampes et les luminaires.

Ce sont les tubes fluorescents de 0,6 m (18 W) qui diminuent considérablement, ainsi nous passons de 974 tubes fluorescents à 614. Ce qui engendre une diminution de 360 tubes fluorescents.

Le prix unitaire du tube fluorescent étant de 700 F CFA, ainsi nous économiserons 252 000 F.

De même la diminution des lampes engendre aussi la réduction des luminaires. Cette réduction est égale à la moitié de celle du nombre de lampes, ce qui équivaut à 180 luminaires.

Un plafonnier ayant un prix de 2000 F CFA, ainsi nous réalisons une économie de 360 000 F CFA.

De même le prix unitaire du lustre étant de 20 000 ce qui nous donne un gain de 280 000 F CFA. Le nombre de lampes par lustre est de 5, ainsi en utilisant des lampes de 11 W qui coûtent 1500 F CFA l'unité nous réalisons un gain de 105 000 F CFA. Car on passe de trente à seize lustres ce qui équivaut à un gain de 14 lustres

En effet l'économie réalisée sur l'investissement est la somme de celle obtenue sur le nombre de lampes et celle des luminaires. Ainsi l'économie réalisée sur l'investissement est de 977 000 F CFA.

#### **IV.4.2- l'économie sur la consommation d'énergie.**

En tenant compte des facteurs d'utilisation que nous avons défini précédemment nous passons d'une consommation de journalière de 142 kWh (journée de huit heures) à une consommation de 92 kWh. Enfin nous gagnons 50kWh par jour.

En effet si nous considérons les cinq jours de travail par semaines et que nous avons 52 semaines dans l'année, ce gain en énergie sera de 13 000 KWh. Cependant il faudra tenir compte aussi des jours fériés qui sont au nombre de douze au Sénégal, cette économie sera enfin de compte de 12 400 kWh.



Le prix moyen du kWh étant de 170 F CFA, le montant de l'économie réalisée peut être chiffré à 2 108 680 F CFA annuellement.

Un autre gain plus difficile à quantifier (financièrement) est réalisé sur la quantité de chaleur transmise par l'éclairage dans les locaux. Ce gain se répercute sur le bilan thermique, ce qui entraîne une baisse de la charge pour la climatisation. Cette charge peut être estimée par la formule :

$$Q = M \times P \quad (4.30)$$

Avec M : coefficient de correction il est fonction du type de luminaire, de l'installation (encastré ou non encastré) et de la durée de fonctionnement de l'éclairage.

P : la puissance de l'éclairage en Watt.

Pour notre cas :  $M = 0,76$  [10]

D'où  $Q = 1,88$  kW.

Ce qui n'est pas négligeable en terme de charge thermique pour le bâtiment.

## CONCLUSION :

Le but recherché dans l'élaboration de ce projet était de montrer par des exemples simples l'importance de faire une étude d'économie sur l'enveloppe et l'éclairage d'un bâtiment existant en zone tropical. La procédure consistait à utiliser les techniques simplifiées de calcul en climatisation et montrer par des exemples précis comment minimiser les charges thermiques du bâtiment.

L'étude des parois opaques verticales a montré que, le fait de choisir des couleurs claires et d'ajouter une couche bien calculée de plâtre ou de polystyrène, permettait de réduire fortement les charges thermiques. Le choix des vitrages isolants au profit du simple vitrage est aussi conseillé d'autant plus que le simple vitrage laisse passer la quasi totalité du flux solaire.

L'étude économique de l'éclairage artificiel combiné avec l'éclairage naturel a montré son importance en minimisant le nombre de lampes nécessaires, mais aussi en réduisant la puissance installée par là, la facture d'électricité.

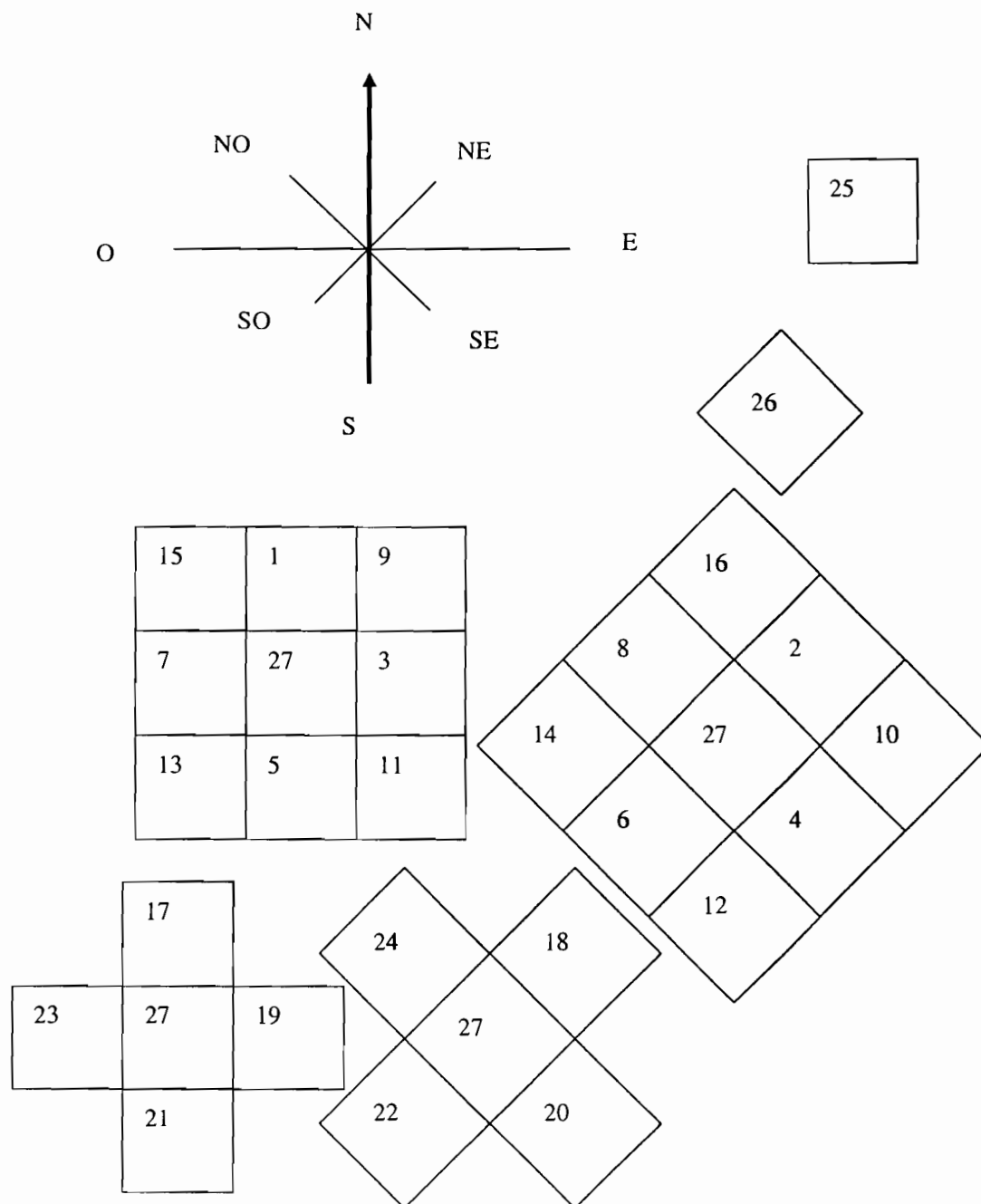
Le respect des propositions énoncées et l'utilisation des résultats trouvés permettront, avec une étude détaillée des charges interne et externe, de déterminer la puissance optimale de l'appareil à installer.

# Annexes

## ANNEXES 1

### ORIENTATION TYPES DES LOCAUX POUR DETERMINER LA POINTE DE REFRIGERATION

A utiliser en combinaison avec le tableau d'insolation maximale.



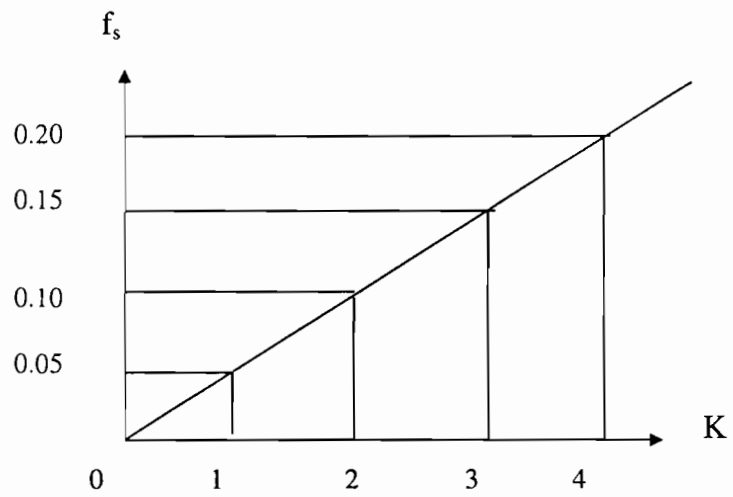
## ANNEXES 2

Heures où le besoin de réfrigération est maximal dans les locaux ayants différentes orientations

| Orientation                                  | Nbre de murs | Orientation des murs | HEURES            |    |               |    |
|----------------------------------------------|--------------|----------------------|-------------------|----|---------------|----|
|                                              |              |                      | Fenêtres protégés |    | Fenêtres nues |    |
|                                              |              |                      | a                 | b  | a             | b  |
| 1                                            | 1            | N                    |                   |    | 14            | 14 |
| 2                                            |              | NE                   |                   |    | 14            | 14 |
| 3                                            |              | E                    | 12                | 12 | 9             | 9  |
| 4                                            |              | SE                   | 13                | 13 | 10            | 10 |
| 5                                            |              | S                    | 14                | 13 | 13            | 13 |
| 6                                            |              | SO                   | 15                | 14 | 16            | 15 |
| 7                                            |              | O                    | 15                | 15 | 16            | 16 |
| 8                                            |              | NO                   | 16                | 15 | 17            | 16 |
| 9                                            | 2            | N-E                  | 14                | 14 | 9             | 9  |
| 10                                           |              | NE-SE                | 14                | 13 | 9             | 9  |
| 11                                           |              | S-E                  | 14                | 13 | 10            | 10 |
| 12                                           |              | SE-SO                | 15                | 14 | 15            | 15 |
| 13                                           |              | S-O                  | 15                | 14 | 15            | 15 |
| 14                                           |              | SO-NO                | 15                | 15 | 16            | 16 |
| 15                                           |              | O-N                  | 15                | 15 | 16            | 16 |
| 16                                           |              | NO-NE                | 16                | 15 | 17            | 17 |
| 17                                           | 3            | O-N-E                | 16                | 15 | 16            | 16 |
| 18                                           |              | NO-NE-SE             | 15                | 15 | 16            | 16 |
| 19                                           |              | N-E-S                | 14                | 14 | 10            | 10 |
| 20                                           |              | NE-SE-SO             | 15                | 14 | 15            | 15 |
| 21                                           |              | E-S-O                | 15                | 14 | 15            | 15 |
| 22                                           |              | SE-NO-NE             | 15                | 15 | 16            | 16 |
| 23                                           |              | S-O-N                | 15                | 15 | 16            | 16 |
| 24                                           |              | SO-NO-NE             | 16                | 15 | 16            | 16 |
| 25                                           | 4            | S-O-N-E              | 15                | 14 | 15            | 16 |
| 26                                           |              | SO-NO-NE-SE          | 15                | 14 | 16            | 16 |
| 27                                           | néant        |                      |                   |    | 14            | 14 |
| a: avec local au dessus                      |              |                      |                   |    |               |    |
| b: avec toit ou comble non ventilé au dessus |              |                      |                   |    |               |    |

### ANNEXES 3

COEFFICIENT DE RAYONNEMENT SOLAIRE  $f_s$   
En fonction du coefficient de transmission K



# ANNEXES 4

| Latitude 10° |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |    |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|
|              | NE  |     | E   |     | SE  |     | S   |    | H   |     | h  |
|              | m   | v   | m   | v   | m   | v   | m   | v  | m   | v   |    |
| 6            | 30  | 25  | 33  | 29  | 15  | 10  | 15  | 10 | 5   |     | 18 |
| 7            | 280 | 240 | 300 | 280 | 145 | 105 | 75  | 55 | 100 | 60  | 17 |
| 8            | 490 | 420 | 525 | 450 | 255 | 180 | 130 | 85 | 340 | 260 | 16 |
| 9            | 470 | 395 | 500 | 420 | 235 | 145 | 130 | 70 | 540 | 465 | 15 |
| 10           | 380 | 290 | 380 | 295 | 155 | 60  | 120 | 60 | 695 | 500 | 14 |
| 11           | 250 | 150 | 205 | 100 | 35  |     | 110 | 55 | 800 | 700 | 13 |
| 12           | 100 | 25  |     |     |     |     | 110 | 50 | 825 | 725 | 12 |
| h            | m   | v   | m   | v   | m   | v   | m   | v  | m   | v   |    |
|              | NO  |     | O   |     | SO  |     | S   |    | H   |     |    |

| Latitude 20° |     |     |     |     |     |     |   |   |     |     |    |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|-----|-----|----|
|              | NE  |     | E   |     | SE  |     | S |   | H   |     | h  |
|              | m   | v   | m   | v   | m   | v   | m | v | m   | v   |    |
| 6            | 180 | 165 | 190 | 170 | 90  | 60  |   |   | 20  | 5   | 18 |
| 7            | 375 | 340 | 485 | 375 | 215 | 175 |   |   | 160 | 110 | 17 |
| 8            | 460 | 395 | 555 | 495 | 310 | 250 |   |   | 380 | 315 | 16 |
| 9            | 410 | 330 | 505 | 440 | 310 | 250 |   |   | 560 | 495 | 15 |
| 10           | 290 | 200 | 375 | 295 | 245 | 155 |   |   | 715 | 630 | 14 |
| 11           | 150 | 65  | 205 | 100 | 140 | 50  |   |   | 800 | 720 | 13 |
| 12           |     |     |     |     |     |     |   |   | 825 | 740 | 12 |
| h            | m   | v   | m   | v   | m   | v   | m | v | m   | v   |    |
|              | NO  |     | O   |     | SO  |     | S |   | H   |     |    |

| Latitude entre 10° et 20° c-à-d 14,45° |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |    |
|----------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|
|                                        | NE  |     | E   |     | SE  |     | S   |    | H   |     | h  |
|                                        | m   | v   | m   | v   | m   | v   | m   | v  | m   | v   |    |
| 6                                      | 30  | 25  | 33  | 29  | 15  | 10  | 15  | 10 | 5   | 0   | 18 |
| 7                                      | 280 | 240 | 300 | 280 | 145 | 105 | 75  | 55 | 100 | 60  | 17 |
| 8                                      | 490 | 420 | 525 | 450 | 255 | 180 | 130 | 85 | 340 | 260 | 16 |
| 9                                      | 470 | 395 | 500 | 420 | 235 | 145 | 130 | 70 | 540 | 465 | 15 |
| 10                                     | 380 | 290 | 380 | 295 | 155 | 60  | 120 | 60 | 695 | 500 | 14 |
| 11                                     | 250 | 150 | 205 | 100 | 35  | 0   | 110 | 55 | 800 | 700 | 13 |
| 12                                     | 100 | 25  | 0   | 0   | 0   | 0   | 110 | 50 | 825 | 725 | 12 |
| h                                      | m   | v   | m   | v   | m   | v   | m   | v  | m   | v   |    |
|                                        | NO  |     | O   |     | SO  |     | S   |    | H   |     |    |

## ANNEXES 5

### Facteur de réduction $g$ pour fenêtres protégées

| Fenêtre protégé par                                         | Couleur        | $g$  |
|-------------------------------------------------------------|----------------|------|
| • Store extérieur en toile                                  | Ecrû           | 0.28 |
| • Store extérieur en toile                                  | Aluminium      | 0.22 |
| • Stores intérieurs entièrement baissés                     | Aluminium      | 0.45 |
| • Stores intérieurs à moitié baissés                        | Blanc ou crème | 0.68 |
| • Persiennes entièrement baissée à l'intérieur des fenêtres | Aluminium      | 0.58 |
| • Persiennes entièrement baissée à l'extérieur des fenêtres | Aluminium      | 0.22 |

### Coefficient d'absorption $\alpha$ pour mur toit et fenêtres

| Couleur et nature de la surface                                                                                                  | $\alpha$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Surfaces très claires :<br>• Pierre blanche – surface blanche claire ou crème – ciment très clair.....                           | 0.4      |
| Surface foncée :<br>• Fibrociment – bois non peint – pierre brune – brique rouge – ciment foncé – staff rouge, vert ou gris..... | 0.7      |
| Surfaces très foncées :<br>• Toitures en ardoise foncées – cartons bitumés très sombre.....                                      | 0.9      |
| Verre (fenêtre ou lanterneaux) :<br>• Vitrage simple                                                                             | 1.0      |
| • Vitrage double:                                                                                                                | 0.9      |
| • Vitrage triple                                                                                                                 | 0.6      |



## ANNEXES 6

Caractéristiques de quelques vitrages trouvés dans le marché de la sous région

| Références          | Type                         | Couleur      | Epaisseur (mm) | Facteur lumineux (%) | Facteur solaire | Coef.K W/m² °C                    |
|---------------------|------------------------------|--------------|----------------|----------------------|-----------------|-----------------------------------|
| STADIP 33-1         | Simple feuil.                | Clair        | 6,4            | 90                   | 84              | 5,7                               |
| STADIP 66-2         | Simple feuil.                | Clair        | 19,5           | 88                   | 78              | 6,6(horiz-ascen)<br>5,5(vertical) |
| STADIP 44- 2        | Simple feuil.<br>Teinté      | Bronze foncé | 8,8            | 33                   | 56              |                                   |
| EKO ENERGIE         | Double vitrage Clair         | Clair        | 4+12+4         | 73                   | 74              | 2,3                               |
| STRLIO              | Simple armé                  | Translucide  | 6              | 43                   | 56              |                                   |
| ANTELIO             | Simple vitrage réfléchissant | Argent       | 6              | 67                   | 68              | 5,7                               |
|                     |                              |              | 8              | 66                   | 66              | 5,7                               |
|                     |                              | Clair        | 5              | 47                   | 59              | 5,7                               |
|                     |                              |              | 6              | 47                   | 58              | 5,7                               |
|                     |                              |              | 10             | 46                   | 55              | 5,7                               |
|                     |                              | Emeraude     | 6              | 54                   | 44              | 5,7                               |
|                     |                              |              | 8              | 50                   | 40              | 5,7                               |
|                     |                              | Havane       | 5              | 27                   | 44              | 5,7                               |
|                     |                              |              | 6              | 24                   | 41              | 5,7                               |
|                     |                              |              | 8              | 20                   | 37              | 5,7                               |
| ANTELIO + PLANTHERM | Double vitrage réfléchissant | Argent       | 6+12+12        | 56                   | 49              | 1,7                               |
|                     |                              | Clair        |                | 39                   | 39              | 1,7                               |
|                     |                              | Emeraude     |                | 46                   | 30              | 1,7                               |
|                     |                              | Havane       |                | 20                   | 24              | 1,7                               |
|                     |                              | Or           |                | 22                   | 27              | 1,7                               |
|                     |                              | Perle        |                | 24                   | 30              | 1,7                               |

## **ANNEXES : 7**

**Calcul du facteur de la lumière du jour dan le bâtiment :**

### Le sous sol

### la salle de sport

Hauteur de la baie h = 0.6 m

pour la façade sud nous avons

L1 3.5 m  
L2 3.365 m

pour la façade est nous avons :

L1 3.5 m  
L2 3.365 m

le pourcentage de la baie par rapport à la maçonnerie :

$$\eta = \frac{h}{H} = \frac{0.6}{4.5} = 13.33 \%$$

ainsi nous avons le facteur de la lumière du jour pour chaque baie qui est la suivante:

$$FJ = 0.2\%$$

fJU =

|                |      |
|----------------|------|
| C <sub>1</sub> | 1    |
| C <sub>2</sub> | 1    |
| C <sub>3</sub> | 0.7  |
| C <sub>4</sub> | 1.15 |
| C <sub>5</sub> | 0.85 |

$$C = \pi C_i = 0.68425$$

$$FJU = 0.14\%$$

l'éclairement extérieur sur le plan horizontal  $E_{ex} = 12000 \text{ lx}$   
la quantité de lumière dans la salle après correction

$$E = 49 \text{ lx}$$

ce qui nous avons un éclairage intérieur de 64 lux sur toute la période 8 heures à 16 heures,

### la salle des archives

nous gardons les mêmes facteurs de corrections que précédemment :

la surface vitrée :

$$\begin{array}{llll} h = & 0.6 \text{ m} & & \\ L_1 = & 3.5 \text{ m} & S_{1v} = & 2.1 \text{ m}^2 \\ L_2 = & 3.365 \text{ m} & S_{2v} = & 2.019 \text{ m}^2 \\ L_3 = & 6.96 \text{ m} & S_{3v} = & 4.176 \text{ m}^2 \\ L_4 = & 3.5 \text{ m} & S_{4v} = & 2.1 \text{ m}^2 \\ L_5 = & 3.365 \text{ m} & S_{5v} = & 2.019 \text{ m}^2 \\ & & \text{somme} & \\ & & = & 12.414 \text{ m}^2 \end{array}$$

la surface de la paroi ; vitrage compris : S

$$S = (28,765 + 9,035) \times 4,5 = 170.1 \text{ m}^2$$

le pourcentage de la surface vitrée :

$$\eta = 7.30\%$$

$$f_j = 0.08\%$$

$$FJU = C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 \times FJ = 0.055\%$$

$$\begin{aligned} E &= FJU \times 3 \times 12000 \\ &= \mathbf{19.7064 \text{ Lux}} \end{aligned}$$

récapitulatif

| locaux           | FJ    | C       | FJU      | E       |
|------------------|-------|---------|----------|---------|
| salle sport      | 0.20% | 0.68425 | 0.001369 | 49.266  |
| salle<br>archive | 0.08% | 0.68425 | 0.000547 | 19.7064 |

### Le rez de chaussée :

pour le calcul toutes les fenêtres ont la même hauteur (H)  
:

nous avons les facteurs de correction qui sont les suivantes:

|                |      |
|----------------|------|
| C <sub>1</sub> | 1    |
| C <sub>2</sub> | 0.2  |
| C <sub>3</sub> | 0.5  |
| C <sub>4</sub> | 1.15 |
| C <sub>5</sub> | 0.85 |

$$C = \pi C_i \quad 0.0978$$

### La salle de reunion

|          |   | longueur (L) | la profondeur (d) | hauteur (H) | L/d | H/d | FJ  |
|----------|---|--------------|-------------------|-------------|-----|-----|-----|
| fenêtres | 1 | 3.5          | 2.25              | 3           | 1.6 | 1.3 | 6   |
|          | 2 | 4.335        | 2.25              | 3           | 1.9 | 1.3 | 7.2 |
|          | 3 | 3.5          | 5                 | 3           | 0.7 | 0.6 | 6   |

19.2

le facteur de la lumière du jour utile FJU

$$FJU = C \times FJ = 1.8768$$

L'éclairement fourni par la lumière du jour

$$E = E_{\text{ext}} \times FJU = 225.216 \text{ lx}$$

cependant du fait de l'utilisation de stores ce flux lumineux apporté par le ciel va être réduite,

### Le bureau du directeur commercial

| longueur (L) | la profondeur (d) | hauteur (H) | L/d   | H/d | FJ (%) |
|--------------|-------------------|-------------|-------|-----|--------|
| 4.335        | 3                 | 3           | 1.445 | 1   | 16.3   |

$$FJU = C \times FJ = 1.593325 \%$$

$$E = E_{\text{ext}} \times FJU = 191.199 \text{ lx}$$

Les trois bureaux :

| longueur (L) | la profondeur (d) | hauteur (H) | L/d  | H/d | FJ (%) |
|--------------|-------------------|-------------|------|-----|--------|
| 8.67         | 3                 | 3           | 2.89 | 1   | 14.1   |

$$FJU = C \times FJ = 1.378275 \%$$

$$E = E_{ext} \times FJU = 165.393 \text{ lx}$$

Pool informatique

|          |   | longueur (L) | la profondeur (d) | hauteur (H) | L/d | H/d | FJ |
|----------|---|--------------|-------------------|-------------|-----|-----|----|
| fenêtres | 1 | 9.4          | 4.7               | 3           | 2.0 | 0.6 | 13 |
|          | 2 | 9.4          | 4.7               | 3           | 2.0 | 0.6 | 13 |
| FJ       |   |              |                   |             |     |     | 26 |

$$FJU = C \times FJ = 2.5415 \%$$

$$E = E_{ext} \times FJU = 304.98 \text{ lx}$$

nous avons 2 pools informatiques qui ont un système d'éclairage identique,

hall  
d'exposition

| longueur(L) | la profondeur (d) | hauteur (H) | L/d  | H/d | FJ (%) |
|-------------|-------------------|-------------|------|-----|--------|
| 8.9         | 5                 | 3           | 1.78 | 0.6 | 12.25  |

$$FJU = C \times FJ = 1.19744$$

$$E = E_{ext} \times FJU = 143.6925 \text{ lx}$$

nous avons deux halls avec un système d'éclairage identique

| locaux        | FJ (%) | C      | FJU | E        |
|---------------|--------|--------|-----|----------|
| salle réunion | 19.2   | 0.0978 | 2%  | 225.216  |
| bur.dir.com   | 16.3   | 0.0978 | 2%  | 191.199  |
| les 3 bureaux | 14.1   | 0.0978 | 1%  | 165.393  |
| pool info     | 26     | 0.0978 | 3%  | 304.98   |
| hall exposi°  | 12.25  | 0.0978 | 1%  | 143.6925 |

# ETAGE 1

|                |      |
|----------------|------|
| C <sub>1</sub> | 1    |
| C <sub>2</sub> | 0.2  |
| C <sub>3</sub> | 0.5  |
| C <sub>4</sub> | 1.15 |
| C <sub>5</sub> | 0.85 |

$$C = \pi C_i \quad 0.0978$$

# BUREAU 1

|          |   | longueur (L) | profondeur (d) | hauteur (H) | L/d     | H/d     | FJ(%) |
|----------|---|--------------|----------------|-------------|---------|---------|-------|
| Fenêtres | 1 | 3.5          | 3.7            | 3           | 0.94595 | 0.81081 | 10.67 |
|          | 2 | 3.5          | 2.23           | 3           | 1.56951 | 1.34529 | 6.75  |
|          | 3 | 4.35         | 2.23           | 3           | 1.95067 | 1.34529 | 7.35  |

$$FJ (\%) \quad 24.77$$

$$FJU = C \times FJ = \quad 2.42 \quad \%$$

L'éclairement apporté par la lumière extérieure E

$$E = E_{ext} \times FJU = \quad 290.5521 \quad lx$$

les bureaux 1 et 6 ont le système d'éclairage naturel ce qui fait leur niveau d'éclairage est identique ,

# BUREAU 2 :

| longueur (L) | profondeur (d) | hauteur (H) | L/d     | H/d    | FJ(%) |
|--------------|----------------|-------------|---------|--------|-------|
| 4.35         | 4.7            | 3           | 0.92553 | 0.6383 | 8.6   |

$$FJU = \quad 0.84065 \quad \%$$

$$E = \quad 100.878 \quad lx$$

Les bureaux 2 ; 3 ; 4 ; 5 ont le même niveau d'éclairage

# SECRETARIAT ATTENTE

| longueur (L) | profondeur (d) | hauteur (H) | L/d  | H/d | FJ(%) |
|--------------|----------------|-------------|------|-----|-------|
| 8.9          | 5              | 3           | 1.78 | 0.6 | 12.3  |

$$FJU = \quad 1.202325 \quad \%$$

$$E = \quad 144.279 \quad lx$$

### SALLE DE REUNION

Nous allons faire le calcul pour deux points car le système d'éclairage ne nous permet pas d'effectuer le calcul en un point,

le premier point

|          |   | longueur<br>(L) | profondeur (d) | hauteur<br>(H) | L/d | H/d | FJ(%) |
|----------|---|-----------------|----------------|----------------|-----|-----|-------|
|          | 1 | 6.465           | 4.7            | 3              | 1.4 | 0.6 | 10.7  |
| Fenêtres | 2 | 6.5             | 4.7            | 3              | 1.4 | 0.6 | 10.7  |

FJ 21.4

FJU = 2.09185 %

E = 251.022 lx

le second point

|          |   | longueur<br>(L) | profondeur (d) | hauteur<br>(H) | L/d  | H/d | FJ(%) |
|----------|---|-----------------|----------------|----------------|------|-----|-------|
|          | 1 | 6.465           | 14.12          | 3              | 0.46 | 0.2 | 1.4   |
| Fenêtres | 2 | 8.9             | 4.7            | 3              | 1.89 | 0.6 | 12.8  |

FJ = 14.2

FJU = 1.38805 %

E = 166.566 lx

|                |
|----------------|
| E = 208.794 lx |
|----------------|

### ESPACE RESTAURANT

| longueur<br>(L) | profondeur (d) | hauteur<br>(H) | L/d  | H/d  | FJ(%) |
|-----------------|----------------|----------------|------|------|-------|
| 3.5             | 4              | 3              | 0.88 | 0.75 | 9.5   |

FJ 9.5

FJU = 0.928625 %

E = 111.435 lx



la cuisine

|          |   | longueur (L) | profondeur (d) | hauteur (H) | L/d  | H/d | FJ(%) |
|----------|---|--------------|----------------|-------------|------|-----|-------|
| Fenêtres | 1 | 3.5          | 2.235          | 3           | 1.57 | 1.3 | 18.5  |
|          | 2 | 3.5          | 2.435          | 3           | 1.44 | 1.2 | 17    |

$$FJ = 35.5$$

$$FJU = 3.470125 \%$$

$$E = 416.415 \text{ lx}$$

| locaux           | FJ (%) | C      | FJU     | E       |
|------------------|--------|--------|---------|---------|
| bureau1 (6)      | 24.77  | 0.0978 | 2.42127 | 290.552 |
| bureau 2         | 8.6    | 0.0978 | 0.84065 | 100.878 |
| salle<br>réunion | 21.4   | 0.0978 | 2.09185 | 251.022 |
| sécre attente    | 12.3   | 0.0978 | 1.20233 | 144.279 |
| esp resto        | 9.5    | 0.0978 | 0.92863 | 111.435 |
| cuisine          | 35.5   | 0.0978 | 3.47013 | 416.415 |

## **ANNEXES : 8**

**Calcul de l'éclairage artificiel dans le bâtiment :**

Etage 2

|               |        |
|---------------|--------|
| $C_1$         | 1      |
| $C_2$         | 0.2    |
| $C_3$         | 0.5    |
| $C_4$         | 1.15   |
| $C_5$         | 0.85   |
| $C = \pi C_i$ | 0.0978 |

LE BUREAU DU DIRECTEUR

|          |   | longueur (L) | profondeur (d) | hauteur (H) | L/d  | H/d | FJ(%) |
|----------|---|--------------|----------------|-------------|------|-----|-------|
| Fenêtres | 1 | 6.9          | 6.85           | 3           | 1.01 | 0.4 | 5.2   |
|          | 2 | 6.9          | 3.44           | 3           | 2.01 | 0.9 | 5.8   |
|          | 3 | 9.17         | 3.44           | 3           | 2.67 | 0.9 | 6.6   |

$$FJ = 17.6$$

$$FJU = 1.7204 \%$$

$$E = 206.448 \text{ lx}$$

ARCHIVE

| longueur (L) | profondeur (d) | hauteur (H) | L/d  | H/d | FJ(%) |
|--------------|----------------|-------------|------|-----|-------|
| 3.1          | 2.3            | 3           | 1.35 | 1.3 | 17    |

$$FJ = 17$$

$$FJU = 1.66175 \%$$

$$E = 199.41 \text{ lx}$$

la chambre du directeur :

|          |   | longueur (L) | profondeur (d) | hauteur (H) | L/d  | H/d | FJ(%) |
|----------|---|--------------|----------------|-------------|------|-----|-------|
| Fenêtres | 1 | 1.5          | 3.45           | 1.2         | 0.43 | 0.3 | 2.8   |
|          | 2 | 1.5          | 1.8            | 1.2         | 0.83 | 0.7 | 8     |

$$FJ = 10.8$$

$$FJU = 1.0557 \%$$

$$E = 126.684 \text{ lx}$$

### SALLE DE REUNION 1

|          |   | longueur (L) | profondeur (d) | hauteur (H) | L/d  | H/d | FJ(%) |
|----------|---|--------------|----------------|-------------|------|-----|-------|
| Fenêtres | 1 | 6.9          | 6.85           | 3           | 1.01 | 0.4 | 5.2   |
|          | 2 | 6.9          | 3.44           | 3           | 2.01 | 0.9 | 5.8   |
|          | 3 | 9.17         | 3.44           | 3           | 2.67 | 0.9 | 6.6   |

FJ = 17.6

FJU = 1.7204 %

E = 206 lx

### SECRETARIAT

| longueur (L) | profondeur (d) | hauteur (H) | L/d  | H/d | FJ(%) |
|--------------|----------------|-------------|------|-----|-------|
| 9.17         | 6.7            | 3           | 1.37 | 0.4 | 6.8   |

FJ = 6.8

FJU = 0.7 %

E = 80 lx

### SALLE DE REUNION 2

|          |   | longueur (L) | profondeur (d) | hauteur (H) | L/d  | H/d | FJ(%) |
|----------|---|--------------|----------------|-------------|------|-----|-------|
| Fenêtres | 1 | 6.9          | 3.45           | 3           | 2.00 | 0.9 | 21.8  |
|          | 2 | 6.9          | 6.9            | 3           | 1.00 | 0.4 | 5.8   |

FJ = 27.6

FJU = 2.7 %

E = 324 lx

| locaux          | FJ (%) | C      | FJU  | E     |
|-----------------|--------|--------|------|-------|
| bureau DG       | 17.6   | 0.0978 | 1.72 | 206.4 |
| chambre DG      | 17     | 0.0978 | 1.66 | 199.4 |
| Archive         | 10.8   | 0.0978 | 1.06 | 126.7 |
| salle réunion 1 | 17.6   | 0.0978 | 1.72 | 206.4 |
| secrétariat     | 6.8    | 0.0978 | 0.66 | 79.76 |
| salle réunion 2 | 27.6   | 0.0978 | 2.7  | 323.7 |

# Calcul de l'éclairage artificiel

Le sous sol

|                                | locaux      |               |         |               |          |
|--------------------------------|-------------|---------------|---------|---------------|----------|
|                                | salle sport | salle archive | parking | salle attente | vestiare |
| Eclairement E (lux)            | 250         | 200           | 150     | 300           | 300      |
| longueur (L)                   | 18.8        | 18.8          | 28.76   | 9.4           | 4.70     |
| largeur (l)                    | 9.4         | 9.4           | 9.4     | 9.4           | 2        |
| hauteur (h)                    | 3           | 3             | 3       | 3             | 3        |
| le flux $\Phi_u$ (lumen)       | 44180       | 35344         | 40551.6 | 26508         | 2820     |
| indice du local K              | 2.09        | 2.09          | 2.36    | 1.57          | 0.47     |
| facteur d'utilisat° U          | 0.78        | 0.78          | 0.89    | 0.76          | 0.5      |
| rendement luminaire            | 0.83        | 0.83          | 0.83    | 0.83          | 0.83     |
| flux total F                   | 68242       | 54594         | 54896   | 42023         | 6795     |
| flux unitaire f                | 2800        | 2800          | 2800    | 1000          | 600      |
| nombre de lampes               | 24          | 19            | 20      | 42            | 11       |
| nombre de luminaires           | 24          | 19            | 20      | 21            | 11       |
| $e_{max} = 1,2 \times H = 3,6$ | 3.0         | 3.0           | 3.0     | 3.0           |          |
| n                              | 3           | 3             | 3       | 3             |          |
| m                              | 8           | 6             | 7       | 7             |          |
| lampes installées              | 24          | 18            | 21      | 42            | 11       |

La puissance installée : 3684 W

Le nombre de lampes installées :

Tubes fluorescents de 1,2 m : 63

Tubes fluorescents de 0,6 m : 42

Lampes à incandescences 60 W : 11

Le rez de chaussée :

|                                | salle reunion | dir com | secretar com | bureaux | secretar bur | pool info | H exo |
|--------------------------------|---------------|---------|--------------|---------|--------------|-----------|-------|
| Eclairage E (lux)              | 500           | 500     | 500          | 500     | 500          | 400       | 400   |
| longueur (L)                   | 9.4           | 4.8     | 4.7          | 9.4     | 9.4          | 9.4       | 9.4   |
| largeur (l)                    | 4.8           | 4.33    | 4.33         | 4.7     | 4.7          | 9.4       | 9.4   |
| hauteur (h)                    | 3             | 3       | 3            | 3       | 3            | 3         | 3     |
| le flux $\Phi_u$ (lumen)       | 22 560        | 10392   | 10175.5      | 22090   | 22090        | 35344     | 35344 |
| indice du local K              | 1.06          | 0.76    | 0.75         | 1.04    | 1.04         | 1.57      | 1.57  |
| facteur d'utilisat° U          | 0.65          | 0.58    | 0.58         | 0.65    | 0.65         | 0.76      | 0.76  |
| rendement luminaire            | 0.83          | 0.83    | 0.83         | 0.83    | 0.83         | 0.83      | 0.83  |
| flux total F                   | 41816         | 21587   | 21137        | 40945   | 40945        | 56030     | 56030 |
| flux unitaire f                | 1000          | 1000    | 1000         | 1000    | 1000         | 1000      | 1000  |
| nombre de lampes               | 42            | 22      | 21           | 41      | 41           | 56        | 56    |
| nombre de luminaires           | 21            | 11      | 11           | 20      | 20           | 28        | 28    |
| $e_{max} = 1,2 \times H = 3,6$ | 1.7           | 2.4     | 2.4          | 1.6     | 1.6          | 3         | 3     |
| n                              | 3             | 2       | 2            | 3       | 3            | 3         | 3     |
| m                              | 7             | 5       | 5            | 7       | 7            | 9         | 9     |
| lampes installées              | 42            | 20      | 20           | 42      | 42           | 54        | 54    |

La puissance installée : 6876 W

Le nombre de lampes installées :

Tubes fluorescents de 0,6 m : 382

Etage 1 :

|                                | bureau | secret attente | esp restau | cuisine | sas  |
|--------------------------------|--------|----------------|------------|---------|------|
| Eclairement E (lux)            | 500    | 500            | 300        | 200     | 200  |
| longueur (L)                   | 9.4    | 9.4            | 9.4        | 4.47    | 4.33 |
| largeur (l)                    | 4.3    | 9.4            | 4.3        | 4.47    | 1.5  |
| hauteur (h)                    | 3      | 3              | 3          | 3       | 3    |
| le flux $\Phi_u$ (lumen)       | 20210  | 44180          | 12126      | 3996.18 | 1299 |
| indice du local K              | 0.98   | 1.57           | 0.98       | 0.75    | 0.37 |
| facteur d'utilisat° U          | 0.65   | 0.76           | 0.65       | 0.58    | 0.48 |
| rendement luminaire            | 0.83   | 0.83           | 0.83       | 0.83    | 0.83 |
| flux total F                   | 37461  | 70038          | 22476      | 8301    | 3261 |
| flux unitaire f                | 1000   | 1000           | 1000       | 1000    | 1000 |
| nombre de lampes               | 37     | 70             | 22         | 8       | 3    |
| nombre de luminaires           | 19     | 35             | 11         | 4       | 2    |
| $e_{max} = 1,2 \times H = 3,6$ | 1.4    | 1.9            | 1.4        | 2.2     | 0.8  |
| n                              | 3      | 5              | 3          | 2       | 1    |
| m                              | 6      | 7              | 7          | 2       | 2    |
| lampes installées              | 36     | 70             | 42         | 8       | 4    |

La puissance installée : 6120 W

Le nombre de lampes installées :

Tubes fluorescents de 0,6 m : 340

Etage 2 :

|                          | bur DG | secret attente | salle reun 1 | salle reun 2 | archive | chambre | espace |
|--------------------------|--------|----------------|--------------|--------------|---------|---------|--------|
| Eclairement E (lux)      | 500    | 500            | 500          | 500          | 200     | 100     | 200    |
| longueur (L)             | 16.3   | 9.4            | 16.3         | 6.9          | 4.75    | 6.9     | 3.1    |
| largeur (l)              | 6.9    | 9.4            | 6.9          | 6.9          | 3.1     | 3.57    | 2.8    |
| hauteur (h)              | 3      | 3              | 3            | 3            | 3       | 3       | 3      |
| le flux $\Phi_u$ (lumen) | 56235  | 44180          | 56235        | 23805        | 2945    | 2463.3  | 1736   |
| indice du local K        | 1.62   | 1.57           | 1.62         | 1.15         | 0.63    | 0.78    | 0.49   |
| facteur d'utilisat° U    | 0.76   | 0.76           | 0.76         | 0.72         | 0.5     | 0.98    | 0.8    |
| rendement luminaire      | 0.83   | 0.83           | 0.83         | 0.83         | 0.83    | 0.83    | 0.83   |
| flux total F             | 89149  | 70038          | 89149        | 39834        | 7096    | 3028    | 2614   |
| flux unitaire f          | 3000   | 1000           | 1000         | 1000         | 1000    | 600     | 600    |
| nombre de lampes         | 30     | 70             | 89           | 40           | 7       | 5       | 4      |
| nombre de luminaires     | 30     | 35             | 45           | 20           | 4       | 5       | 4      |
| emax = 1,2 x H= 3,6      | 2.3    | 1.9            | 1.4          | 2.3          | 1.5     |         |        |
| n                        | 3      | 5              | 5            | 3            | 2       |         |        |
| m                        | 10     | 7              | 9            | 7            | 2       |         |        |
| lampes installées        | 30     | 70             | 90           | 42           | 8       | 5       | 4      |

La puissance installée : 7560 W

Le nombre de lampes installées :

Tubes fluorescents de 0,6 m : 210



## Rendement des réflecteurs

En fonction de l'indice du local (K) et du rapport de suspension (J)

$J = 0$

| K = 2,5               |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plat. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   |    |
| Classe des luminaires | A     | 1,01 | 0,99 | 0,97 | 0,95 | 0,97 | 0,95 | 0,94 | 0,94 | 0,93 | 0,91 |    |
|                       | B     | 0,99 | 0,96 | 0,93 | 0,90 | 0,94 | 0,92 | 0,90 | 0,90 | 0,89 | 0,87 |    |
|                       | C     | 0,96 | 0,92 | 0,88 | 0,85 | 0,90 | 0,86 | 0,84 | 0,85 | 0,83 | 0,80 |    |
|                       | D     | 0,94 | 0,89 | 0,84 | 0,81 | 0,87 | 0,83 | 0,80 | 0,82 | 0,79 | 0,76 |    |
|                       | E     | 0,92 | 0,86 | 0,81 | 0,77 | 0,84 | 0,79 | 0,76 | 0,78 | 0,75 | 0,72 |    |
|                       | F     | 0,93 | 0,88 | 0,83 | 0,79 | 0,86 | 0,82 | 0,78 | 0,80 | 0,77 | 0,75 |    |
|                       | G     | 0,88 | 0,81 | 0,75 | 0,70 | 0,79 | 0,73 | 0,69 | 0,72 | 0,68 | 0,65 |    |
|                       | H     | 0,85 | 0,77 | 0,70 | 0,64 | 0,75 | 0,69 | 0,64 | 0,67 | 0,63 | 0,60 |    |
|                       | I     | 0,87 | 0,80 | 0,74 | 0,69 | 0,78 | 0,72 | 0,68 | 0,71 | 0,67 | 0,64 |    |
|                       | J     | 0,80 | 0,71 | 0,62 | 0,55 | 0,68 | 0,61 | 0,54 | 0,59 | 0,54 | 0,50 |    |

$J = 1/3$

| K = 2,5               |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plat. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   |    |
| Classe des luminaires | A     | 1,01 | 0,98 | 0,96 | 0,94 | 0,96 | 0,95 | 0,93 | 0,94 | 0,92 | 0,91 |    |
|                       | B     | 0,98 | 0,95 | 0,92 | 0,89 | 0,93 | 0,91 | 0,89 | 0,90 | 0,88 | 0,86 |    |
|                       | C     | 0,95 | 0,90 | 0,87 | 0,84 | 0,89 | 0,86 | 0,83 | 0,85 | 0,82 | 0,80 |    |
|                       | D     | 0,93 | 0,87 | 0,83 | 0,80 | 0,86 | 0,82 | 0,79 | 0,81 | 0,78 | 0,76 |    |
|                       | E     | 0,91 | 0,84 | 0,80 | 0,76 | 0,83 | 0,78 | 0,75 | 0,77 | 0,74 | 0,72 |    |
|                       | F     | 0,92 | 0,86 | 0,82 | 0,78 | 0,85 | 0,81 | 0,77 | 0,80 | 0,77 | 0,75 |    |
|                       | G     | 0,87 | 0,80 | 0,74 | 0,69 | 0,78 | 0,73 | 0,68 | 0,71 | 0,68 | 0,65 |    |
|                       | H     | 0,84 | 0,76 | 0,69 | 0,63 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,67 | 0,62 | 0,60 |    |
|                       | I     | 0,86 | 0,79 | 0,73 | 0,68 | 0,77 | 0,71 | 0,67 | 0,70 | 0,66 | 0,64 |    |
|                       | J     | 0,79 | 0,69 | 0,61 | 0,54 | 0,67 | 0,60 | 0,54 | 0,59 | 0,53 | 0,50 |    |

| K = 3                 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plat. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   |    |
| Classe des luminaires | A     | 1,05 | 1,01 | 0,99 | 0,97 | 0,99 | 0,97 | 0,95 | 0,98 | 0,95 | 0,93 |    |
|                       | B     | 1,01 | 0,98 | 0,96 | 0,93 | 0,96 | 0,94 | 0,93 | 0,93 | 0,91 | 0,89 |    |
|                       | C     | 0,98 | 0,94 | 0,91 | 0,88 | 0,92 | 0,89 | 0,87 | 0,88 | 0,86 | 0,83 |    |
|                       | D     | 0,96 | 0,92 | 0,88 | 0,84 | 0,89 | 0,86 | 0,83 | 0,85 | 0,82 | 0,80 |    |
|                       | E     | 0,94 | 0,89 | 0,85 | 0,81 | 0,87 | 0,83 | 0,80 | 0,82 | 0,79 | 0,76 |    |
|                       | F     | 0,95 | 0,91 | 0,87 | 0,83 | 0,89 | 0,85 | 0,82 | 0,84 | 0,81 | 0,79 |    |
|                       | G     | 0,90 | 0,85 | 0,79 | 0,74 | 0,82 | 0,77 | 0,73 | 0,76 | 0,72 | 0,69 |    |
|                       | H     | 0,88 | 0,81 | 0,75 | 0,69 | 0,78 | 0,73 | 0,68 | 0,71 | 0,67 | 0,64 |    |
|                       | I     | 0,91 | 0,84 | 0,78 | 0,74 | 0,82 | 0,77 | 0,73 | 0,76 | 0,72 | 0,69 |    |
|                       | J     | 0,83 | 0,75 | 0,67 | 0,60 | 0,72 | 0,65 | 0,59 | 0,63 | 0,58 | 0,55 |    |

| K = 3                 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plat. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   |    |
| Classe des luminaires | A     | 1,02 | 1,00 | 0,98 | 0,96 | 0,98 | 0,97 | 0,95 | 0,97 | 0,94 | 0,92 |    |
|                       | B     | 1,00 | 0,97 | 0,94 | 0,92 | 0,96 | 0,93 | 0,91 | 0,92 | 0,91 | 0,89 |    |
|                       | C     | 0,97 | 0,93 | 0,91 | 0,87 | 0,91 | 0,88 | 0,86 | 0,87 | 0,86 | 0,83 |    |
|                       | D     | 0,95 | 0,90 | 0,87 | 0,83 | 0,89 | 0,85 | 0,82 | 0,84 | 0,82 | 0,80 |    |
|                       | E     | 0,93 | 0,86 | 0,84 | 0,80 | 0,86 | 0,83 | 0,79 | 0,81 | 0,79 | 0,76 |    |
|                       | F     | 0,95 | 0,90 | 0,86 | 0,82 | 0,88 | 0,85 | 0,81 | 0,83 | 0,81 | 0,79 |    |
|                       | G     | 0,90 | 0,83 | 0,78 | 0,73 | 0,81 | 0,77 | 0,72 | 0,75 | 0,72 | 0,69 |    |
|                       | H     | 0,87 | 0,80 | 0,75 | 0,69 | 0,78 | 0,72 | 0,67 | 0,71 | 0,67 | 0,64 |    |
|                       | I     | 0,90 | 0,83 | 0,78 | 0,73 | 0,81 | 0,76 | 0,72 | 0,75 | 0,71 | 0,69 |    |
|                       | J     | 0,82 | 0,73 | 0,65 | 0,59 | 0,71 | 0,64 | 0,58 | 0,63 | 0,58 | 0,55 |    |

| K = 4                 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plat. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   |    |
| Classe des luminaires | A     | 1,04 | 1,03 | 1,01 | 1,00 | 1,01 | 1,00 | 0,98 | 0,98 | 0,97 | 0,95 |    |
|                       | B     | 1,03 | 1,00 | 0,98 | 0,97 | 0,99 | 0,97 | 0,96 | 0,96 | 0,94 | 0,92 |    |
|                       | C     | 1,00 | 0,97 | 0,94 | 0,92 | 0,95 | 0,92 | 0,90 | 0,91 | 0,89 | 0,87 |    |
|                       | D     | 0,99 | 0,95 | 0,92 | 0,89 | 0,93 | 0,90 | 0,88 | 0,89 | 0,87 | 0,84 |    |
|                       | E     | 0,96 | 0,94 | 0,90 | 0,87 | 0,92 | 0,89 | 0,86 | 0,87 | 0,85 | 0,82 |    |
|                       | F     | 0,98 | 0,95 | 0,91 | 0,89 | 0,93 | 0,90 | 0,87 | 0,88 | 0,86 | 0,83 |    |
|                       | G     | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,81 | 0,87 | 0,83 | 0,80 | 0,82 | 0,79 | 0,76 |    |
|                       | H     | 0,92 | 0,86 | 0,81 | 0,76 | 0,84 | 0,79 | 0,75 | 0,77 | 0,74 | 0,70 |    |
|                       | I     | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,81 | 0,87 | 0,83 | 0,80 | 0,82 | 0,79 | 0,76 |    |
|                       | J     | 0,88 | 0,80 | 0,73 | 0,67 | 0,77 | 0,71 | 0,66 | 0,69 | 0,65 | 0,61 |    |

| K = 4                 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plat. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   |    |
| Classe des luminaires | A     | 1,04 | 1,02 | 1,00 | 0,99 | 1,00 | 0,99 | 0,98 | 0,98 | 0,97 | 0,95 |    |
|                       | B     | 1,02 | 1,00 | 0,98 | 0,96 | 0,98 | 0,96 | 0,95 | 0,95 | 0,94 | 0,92 |    |
|                       | C     | 0,99 | 0,96 | 0,93 | 0,91 | 0,94 | 0,92 | 0,90 | 0,90 | 0,89 | 0,87 |    |
|                       | D     | 0,98 | 0,94 | 0,91 | 0,88 | 0,93 | 0,90 | 0,87 | 0,88 | 0,86 | 0,84 |    |
|                       | E     | 0,97 | 0,93 | 0,89 | 0,86 | 0,91 | 0,88 | 0,85 | 0,87 | 0,84 | 0,82 |    |
|                       | F     | 0,98 | 0,94 | 0,90 | 0,87 | 0,92 | 0,89 | 0,86 | 0,88 | 0,85 | 0,83 |    |
|                       | G     | 0,94 | 0,89 | 0,84 | 0,80 | 0,87 | 0,83 | 0,79 | 0,81 | 0,78 | 0,76 |    |
|                       | H     | 0,91 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,83 | 0,78 | 0,74 | 0,77 | 0,73 | 0,70 |    |
|                       | I     | 0,94 | 0,89 | 0,84 | 0,80 | 0,87 | 0,83 | 0,79 | 0,81 | 0,78 | 0,76 |    |
|                       | J     | 0,87 | 0,79 | 0,72 | 0,66 | 0,76 | 0,70 | 0,65 | 0,69 | 0,64 | 0,61 |    |

| K = 5                 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plat. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   |    |
| Classe des luminaires | A     | 1,05 | 1,04 | 1,03 | 1,02 | 1,02 | 1,01 | 1,01 | 1,00 | 0,99 | 0,97 |    |
|                       | B     | 1,04 | 1,02 | 1,01 | 0,99 | 1,00 | 0,99 | 0,98 | 0,97 | 0,96 | 0,94 |    |
|                       | C     | 1,01 | 0,99 | 0,96 | 0,94 | 0,96 | 0,95 | 0,93 | 0,93 | 0,91 | 0,89 |    |
|                       | D     | 1,01 | 0,98 | 0,95 | 0,93 | 0,95 | 0,93 | 0,91 | 0,91 | 0,90 | 0,87 |    |
|                       | E     | 1,00 | 0,97 | 0,94 | 0,91 | 0,94 | 0,92 | 0,90 | 0,90 | 0,88 | 0,85 |    |
|                       | F     | 1,00 | 0,97 | 0,94 | 0,92 | 0,95 | 0,92 | 0,90 | 0,91 | 0,89 | 0,86 |    |
|                       | G     | 0,97 | 0,93 | 0,89 | 0,86 | 0,90 | 0,87 | 0,84 | 0,85 | 0,83 | 0,80 |    |
|                       | H     | 0,95 | 0,89 | 0,85 | 0,81 | 0,87 | 0,83 | 0,79 | 0,81 | 0,78 | 0,75 |    |
|                       | I     | 0,97 | 0,93 | 0,89 | 0,86 | 0,91 | 0,87 | 0,84 | 0,86 | 0,83 | 0,80 |    |
|                       | J     | 0,90 | 0,84 | 0,77 | 0,72 | 0,81 | 0,75 | 0,71 | 0,74 | 0,69 | 0,66 |    |

| K = 5                 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plat. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   |    |
| Classe des luminaires | A     | 1,05 | 1,03 | 1,02 | 1,01 | 1,02 | 1,01 | 1,00 | 0,99 | 0,99 | 0,97 |    |
|                       | B     | 1,03 | 1,02 | 1,00 | 0,98 | 1,00 | 0,98 | 0,97 | 0,97 | 0,96 | 0,94 |    |
|                       | C     | 1,01 | 0,98 | 0,96 | 0,93 | 0,96 | 0,94 | 0,92 | 0,93 | 0,91 | 0,89 |    |
|                       | D     | 1,00 | 0,97 | 0,94 | 0,92 | 0,95 | 0,93 | 0,91 | 0,91 | 0,89 | 0,87 |    |
|                       | E     | 0,99 | 0,96 | 0,93 | 0,90 | 0,94 | 0,91 | 0,89 | 0,90 | 0,88 | 0,85 |    |
|                       | F     | 0,99 | 0,96 | 0,93 | 0,91 | 0,94 | 0,92 | 0,90 | 0,90 | 0,88 | 0,86 |    |
|                       | G     | 0,96 | 0,92 | 0,88 | 0,85 | 0,90 | 0,87 | 0,84 | 0,85 | 0,82 | 0,80 |    |
|                       | H     | 0,94 | 0,89 | 0,84 | 0,80 | 0,86 | 0,82 | 0,79 | 0,81 | 0,78 | 0,75 |    |
|                       | I     | 0,96 | 0,92 | 0,88 | 0,85 | 0,90 | 0,87 | 0,84 | 0,86 | 0,83 | 0,80 |    |
|                       | J     | 0,90 | 0,83 | 0,77 | 0,71 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,73 | 0,69 | 0,66 |    |

$$J = 0$$

| K = 1                 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plaf. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   | 00 |
| Classe des luminaires | A     | 0,92 | 0,88 | 0,84 | 0,81 | 0,87 | 0,83 | 0,81 | 0,83 | 0,81 | 0,79 |    |
|                       | B     | 0,86 | 0,80 | 0,76 | 0,72 | 0,79 | 0,75 | 0,72 | 0,74 | 0,72 | 0,70 |    |
|                       | C     | 0,81 | 0,73 | 0,67 | 0,63 | 0,71 | 0,66 | 0,62 | 0,65 | 0,62 | 0,60 |    |
|                       | D     | 0,76 | 0,67 | 0,60 | 0,55 | 0,65 | 0,59 | 0,55 | 0,59 | 0,55 | 0,52 |    |
|                       | E     | 0,71 | 0,61 | 0,53 | 0,48 | 0,59 | 0,53 | 0,47 | 0,52 | 0,47 | 0,45 |    |
|                       | F     | 0,71 | 0,60 | 0,53 | 0,47 | 0,59 | 0,52 | 0,47 | 0,51 | 0,46 | 0,44 |    |
|                       | G     | 0,68 | 0,56 | 0,48 | 0,42 | 0,54 | 0,47 | 0,41 | 0,46 | 0,41 | 0,39 |    |
|                       | H     | 0,65 | 0,53 | 0,45 | 0,38 | 0,52 | 0,44 | 0,38 | 0,43 | 0,38 | 0,35 |    |
|                       | I     | 0,64 | 0,51 | 0,42 | 0,35 | 0,49 | 0,41 | 0,35 | 0,40 | 0,35 | 0,32 |    |
|                       | J     | 0,60 | 0,47 | 0,37 | 0,29 | 0,45 | 0,36 | 0,29 | 0,35 | 0,29 | 0,26 |    |

$$J = 1/3$$

| K = 1                 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plaf. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   | 00 |
| Classe des luminaires | A     | 0,91 | 0,86 | 0,83 | 0,81 | 0,86 | 0,83 | 0,81 | 0,83 | 0,80 | 0,79 |    |
|                       | B     | 0,85 | 0,79 | 0,75 | 0,72 | 0,78 | 0,74 | 0,71 | 0,74 | 0,71 | 0,70 |    |
|                       | C     | 0,78 | 0,71 | 0,66 | 0,62 | 0,70 | 0,65 | 0,62 | 0,65 | 0,62 | 0,60 |    |
|                       | D     | 0,74 | 0,65 | 0,59 | 0,55 | 0,64 | 0,58 | 0,54 | 0,58 | 0,54 | 0,52 |    |
|                       | E     | 0,69 | 0,59 | 0,52 | 0,47 | 0,58 | 0,52 | 0,47 | 0,51 | 0,47 | 0,45 |    |
|                       | F     | 0,68 | 0,58 | 0,51 | 0,46 | 0,57 | 0,51 | 0,46 | 0,51 | 0,46 | 0,44 |    |
|                       | G     | 0,65 | 0,54 | 0,46 | 0,41 | 0,53 | 0,46 | 0,41 | 0,46 | 0,41 | 0,39 |    |
|                       | H     | 0,63 | 0,51 | 0,43 | 0,38 | 0,50 | 0,43 | 0,37 | 0,42 | 0,37 | 0,35 |    |
|                       | I     | 0,61 | 0,49 | 0,41 | 0,35 | 0,48 | 0,40 | 0,34 | 0,40 | 0,34 | 0,32 |    |
|                       | J     | 0,57 | 0,44 | 0,35 | 0,29 | 0,43 | 0,35 | 0,29 | 0,35 | 0,29 | 0,26 |    |

| K = 1,25              |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plaf. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   | 00 |
| Classe des luminaires | A     | 0,95 | 0,92 | 0,88 | 0,86 | 0,90 | 0,88 | 0,85 | 0,87 | 0,85 | 0,84 |    |
|                       | B     | 0,91 | 0,85 | 0,81 | 0,78 | 0,84 | 0,80 | 0,78 | 0,80 | 0,77 | 0,75 |    |
|                       | C     | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,70 | 0,78 | 0,73 | 0,69 | 0,72 | 0,69 | 0,67 |    |
|                       | D     | 0,82 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,72 | 0,67 | 0,62 | 0,66 | 0,62 | 0,60 |    |
|                       | E     | 0,78 | 0,68 | 0,61 | 0,56 | 0,67 | 0,60 | 0,55 | 0,60 | 0,55 | 0,53 |    |
|                       | F     | 0,78 | 0,69 | 0,62 | 0,57 | 0,67 | 0,61 | 0,56 | 0,60 | 0,56 | 0,54 |    |
|                       | G     | 0,74 | 0,63 | 0,55 | 0,49 | 0,61 | 0,54 | 0,49 | 0,53 | 0,48 | 0,46 |    |
|                       | H     | 0,71 | 0,60 | 0,52 | 0,45 | 0,58 | 0,51 | 0,45 | 0,50 | 0,44 | 0,42 |    |
|                       | I     | 0,71 | 0,60 | 0,51 | 0,44 | 0,58 | 0,50 | 0,44 | 0,49 | 0,43 | 0,41 |    |
|                       | J     | 0,66 | 0,53 | 0,44 | 0,36 | 0,51 | 0,43 | 0,36 | 0,42 | 0,36 | 0,33 |    |

| K = 1,25              |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plaf. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   | 00 |
| Classe des luminaires | A     | 0,94 | 0,90 | 0,87 | 0,85 | 0,90 | 0,87 | 0,85 | 0,87 | 0,85 | 0,84 |    |
|                       | B     | 0,89 | 0,84 | 0,80 | 0,77 | 0,83 | 0,80 | 0,77 | 0,79 | 0,77 | 0,75 |    |
|                       | C     | 0,84 | 0,77 | 0,72 | 0,69 | 0,78 | 0,72 | 0,69 | 0,72 | 0,68 | 0,67 |    |
|                       | D     | 0,80 | 0,72 | 0,66 | 0,62 | 0,71 | 0,66 | 0,62 | 0,65 | 0,62 | 0,60 |    |
|                       | E     | 0,76 | 0,66 | 0,60 | 0,55 | 0,65 | 0,59 | 0,55 | 0,59 | 0,56 | 0,53 |    |
|                       | F     | 0,76 | 0,67 | 0,61 | 0,56 | 0,66 | 0,60 | 0,56 | 0,60 | 0,56 | 0,54 |    |
|                       | G     | 0,71 | 0,61 | 0,54 | 0,48 | 0,60 | 0,53 | 0,48 | 0,53 | 0,48 | 0,46 |    |
|                       | H     | 0,69 | 0,58 | 0,50 | 0,44 | 0,57 | 0,50 | 0,44 | 0,49 | 0,44 | 0,42 |    |
|                       | I     | 0,68 | 0,57 | 0,49 | 0,41 | 0,56 | 0,49 | 0,43 | 0,48 | 0,43 | 0,41 |    |
|                       | J     | 0,63 | 0,51 | 0,42 | 0,36 | 0,50 | 0,42 | 0,35 | 0,41 | 0,35 | 0,33 |    |

| K = 1,5               |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plaf. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   | 00 |
| Classe des luminaires | A     | 0,97 | 0,93 | 0,90 | 0,88 | 0,92 | 0,90 | 0,87 | 0,89 | 0,87 | 0,85 |    |
|                       | B     | 0,93 | 0,89 | 0,84 | 0,81 | 0,87 | 0,83 | 0,81 | 0,82 | 0,80 | 0,78 |    |
|                       | C     | 0,89 | 0,83 | 0,78 | 0,74 | 0,81 | 0,77 | 0,73 | 0,78 | 0,73 | 0,71 |    |
|                       | D     | 0,85 | 0,78 | 0,72 | 0,68 | 0,75 | 0,71 | 0,67 | 0,70 | 0,66 | 0,64 |    |
|                       | E     | 0,82 | 0,73 | 0,67 | 0,61 | 0,71 | 0,66 | 0,61 | 0,65 | 0,60 | 0,58 |    |
|                       | F     | 0,83 | 0,75 | 0,69 | 0,63 | 0,73 | 0,67 | 0,63 | 0,68 | 0,62 | 0,60 |    |
|                       | G     | 0,78 | 0,68 | 0,61 | 0,55 | 0,66 | 0,60 | 0,54 | 0,58 | 0,54 | 0,51 |    |
|                       | H     | 0,75 | 0,65 | 0,57 | 0,50 | 0,63 | 0,55 | 0,50 | 0,54 | 0,49 | 0,46 |    |
|                       | I     | 0,76 | 0,65 | 0,57 | 0,51 | 0,63 | 0,56 | 0,50 | 0,55 | 0,50 | 0,47 |    |
|                       | J     | 0,70 | 0,58 | 0,49 | 0,41 | 0,56 | 0,47 | 0,41 | 0,46 | 0,40 | 0,37 |    |

| K = 1,50              |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plaf. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   | 00 |
| Classe des luminaires | A     | 0,96 | 0,92 | 0,89 | 0,87 | 0,91 | 0,89 | 0,87 | 0,88 | 0,86 | 0,85 |    |
|                       | B     | 0,92 | 0,87 | 0,83 | 0,80 | 0,86 | 0,83 | 0,80 | 0,82 | 0,80 | 0,78 |    |
|                       | C     | 0,87 | 0,81 | 0,76 | 0,73 | 0,80 | 0,76 | 0,73 | 0,75 | 0,72 | 0,71 |    |
|                       | D     | 0,84 | 0,76 | 0,71 | 0,67 | 0,75 | 0,70 | 0,66 | 0,70 | 0,66 | 0,64 |    |
|                       | E     | 0,80 | 0,72 | 0,65 | 0,61 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,64 | 0,60 | 0,58 |    |
|                       | F     | 0,81 | 0,73 | 0,67 | 0,63 | 0,72 | 0,67 | 0,62 | 0,66 | 0,62 | 0,60 |    |
|                       | G     | 0,76 | 0,66 | 0,59 | 0,54 | 0,65 | 0,59 | 0,54 | 0,58 | 0,53 | 0,51 |    |
|                       | H     | 0,73 | 0,63 | 0,55 | 0,49 | 0,61 | 0,54 | 0,49 | 0,54 | 0,49 | 0,46 |    |
|                       | I     | 0,74 | 0,63 | 0,56 | 0,50 | 0,62 | 0,55 | 0,50 | 0,54 | 0,49 | 0,47 |    |
|                       | J     | 0,68 | 0,56 | 0,47 | 0,40 | 0,54 | 0,46 | 0,40 | 0,45 | 0,40 | 0,37 |    |

| K = 2                 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plaf. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   | 00 |
| Classe des luminaires | A     | 1,00 | 0,97 | 0,94 | 0,92 | 0,95 | 0,93 | 0,91 | 0,92 | 0,90 | 0,87 |    |
|                       | B     | 0,97 | 0,93 | 0,90 | 0,87 | 0,91 | 0,88 | 0,86 | 0,87 | 0,85 | 0,83 |    |
|                       | C     | 0,93 | 0,88 | 0,84 | 0,81 | 0,86 | 0,83 | 0,80 | 0,82 | 0,79 | 0,77 |    |
|                       | D     | 0,91 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,83 | 0,78 | 0,75 | 0,77 | 0,74 | 0,71 |    |
|                       | E     | 0,88 | 0,81 | 0,75 | 0,70 | 0,79 | 0,74 | 0,70 | 0,73 | 0,69 | 0,66 |    |
|                       | F     | 0,89 | 0,83 | 0,77 | 0,73 | 0,81 | 0,76 | 0,72 | 0,75 | 0,72 | 0,69 |    |
|                       | G     | 0,84 | 0,76 | 0,69 | 0,64 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,66 | 0,62 | 0,59 |    |
|                       | H     | 0,81 | 0,72 | 0,65 | 0,58 | 0,70 | 0,63 | 0,58 | 0,62 | 0,57 | 0,54 |    |
|                       | I     | 0,83 | 0,74 | 0,67 | 0,61 | 0,72 | 0,66 | 0,61 | 0,64 | 0,60 | 0,57 |    |
|                       | J     | 0,76 | 0,65 | 0,57 | 0,49 | 0,63 | 0,55 | 0,48 | 0,53 | 0,48 | 0,45 |    |

| K = 2                 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Facteur réflexion (%) | plaf. | 70   | 70   | 70   | 70   | 50   | 50   | 50   | 30   | 30   | 00   | 00 |
|                       | murs  | 70   | 50   | 30   | 10   | 50   | 30   | 10   | 30   | 10   | 00   | 00 |
| Classe des luminaires | A     | 0,99 | 0,95 | 0,93 | 0,91 | 0,94 | 0,92 | 0,90 | 0,91 | 0,90 | 0,89 |    |
|                       | B     | 0,96 | 0,92 | 0,88 | 0,86 | 0,90 | 0,88 | 0,85 | 0,87 | 0,85 | 0,83 |    |
|                       | C     | 0,92 | 0,87 | 0,83 | 0,79 | 0,86 | 0,82 | 0,79 | 0,81 | 0,78 | 0,77 |    |
|                       | D     | 0,89 | 0,83 | 0,78 | 0,74 | 0,82 | 0,77 | 0,74 | 0,77 | 0,73 | 0,71 |    |
|                       | E     | 0,86 | 0,79 | 0,74 | 0,69 | 0,78 | 0,73 | 0,69 | 0,72 | 0,68 | 0,66 |    |
|                       | F     | 0,88 | 0,81 | 0,76 | 0,72 | 0,80 | 0,75 | 0,72 | 0,74 | 0,71 | 0,69 |    |
|                       | G     | 0,82 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,73 | 0,67 | 0,62 | 0,66 | 0,62 | 0,59 |    |
|                       | H     | 0,80 | 0,70 | 0,63 | 0,57 | 0,69 | 0,62 | 0,57 | 0,61 | 0,57 | 0,54 |    |
|                       | I     | 0,81 | 0,72 | 0,66 | 0,60 | 0,71 | 0,65 | 0,60 | 0,64 | 0,59 | 0,57 |    |
|                       | J     | 0,74 | 0,63 | 0,55 | 0,48 | 0,62 | 0,54 | 0,48 | 0,53 | 0,47 | 0,45 |    |

tire du « memotech Electrotechnique » collection :ACapliez, 6<sup>e</sup> edition ,pp 144,145

| niveau          | locaux          | nbre de lampes | P unit (W) | P totale (W) | Fact utilisat° | P cons (W) |
|-----------------|-----------------|----------------|------------|--------------|----------------|------------|
| Sous sol        | salle sport     | 24             | 36         | 864          | 0.25           | 216        |
|                 | archive         | 18             | 36         | 648          | 0.25           | 162        |
|                 | parking         | 21             | 36         | 756          | 1              | 756        |
|                 | vestiaire       | 11             | 60         | 660          | 0.1            | 66         |
|                 | salle d'attente | 42             | 18         | 756          | 0.8            | 605        |
|                 | toilettes       | 6              | 60         | 360          | 0.1            | 36         |
| rez de chaussée | salle reunion   | 42             | 18         | 756          | 0.2            | 151        |
|                 | bureau dir com  | 20             | 18         | 360          | 1              | 360        |
|                 | secret com      | 20             | 18         | 360          | 1              | 360        |
|                 | bureaux         | 20             | 18         | 360          | 1              | 360        |
|                 | secretariat     | 42             | 18         | 756          | 1              | 756        |
|                 | pool info (2)   | 108            | 18         | 1 944        | 1              | 1 944      |
|                 | hall expo (2)   | 108            | 18         | 1 944        | 1              | 1 944      |
|                 | attente         | 16             | 18         | 288          | 1              | 288        |
|                 | toilettes       | 6              | 60         | 360          | 1              | 360        |
| etage 1         | bureau 1 et 6   | 72             | 18         | 1 296        | 1              | 1 296      |
|                 | bureau 2 à 5    | 144            | 18         | 2 592        | 1              | 2 592      |
|                 | secrétariat     | 70             | 18         | 1 260        | 1              | 1 260      |
|                 | restaurant      | 42             | 18         | 756          | 0.13           | 98         |
|                 | cuisine         | 8              | 18         | 144          | 0.5            | 72         |
|                 | attente         | 16             | 18         | 288          | 1              | 288        |
|                 | sas             | 4              | 18         | 72           | 1              | 72         |
|                 | toilettes       | 6              | 60         | 360          | 0.1            | 36         |
|                 | bureau DG       | 30             | 60         | 1 800        | 1              | 1 800      |
| etage 2         | archive         | 8              | 18         | 144          | 0.2            | 29         |
|                 | chambre         | 5              | 18         | 90           | 0.1            | 9          |
|                 | salle réunion 1 | 90             | 18         | 1 620        | 0.2            | 324        |
|                 | salle réunion 2 | 42             | 18         | 756          | 0.2            | 151        |
|                 | secretariat     | 70             | 18         | 1 260        | 1              | 1 260      |
|                 | SDB (DG)        | 6              | 60         | 360          | 0.1            | 36         |
|                 | toilettes       | 8              | 60         | 480          | 0.1            | 48         |

24 450 W 17 735

Puissance consommée par l'éclairage artificiel :

## **ANNEXES : 9**

**Calcul de l'éclairage artificiel en apport à l'éclairage naturel dans le bâtiment :**

### Le rez de chaussée

|                                | salle reunion | dir com | secretar com | bureaux | secretar bur | pool info | H exo  |
|--------------------------------|---------------|---------|--------------|---------|--------------|-----------|--------|
| Eclairage E (lux)              | 331           | 357     | 500          | 376     | 376          | 171       | 292    |
| longueur (L)                   | 9.4           | 4.8     | 4.7          | 9.4     | 9.4          | 9.4       | 9.4    |
| largeur (l)                    | 4.8           | 4.33    | 4.33         | 4.7     | 4.7          | 9.4       | 9.4    |
| hauteur (h)                    | 3             | 3       | 3            | 3       | 3            | 3         | 3      |
| le flux $\Phi_u$ (lumen)       | 14 935        | 7 420   | 10 176       | 16 612  | 16 612       | 15 110    | 25 801 |
| indice du local K              | 1.06          | 0.76    | 0.75         | 1.04    | 1.04         | 1.57      | 1.57   |
| facteur d'utilisat° U          | 0.65          | 0.58    | 0.58         | 0.65    | 0.65         | 0.76      | 0.76   |
| rendement luminaire            | 0.83          | 0.83    | 0.83         | 0.83    | 0.83         | 0.83      | 0.83   |
| flux total F                   | 27683         | 15413   | 21137        | 30791   | 30791        | 23953     | 40902  |
| flux unitaire f                | 1000          | 1000    | 1000         | 1000    | 1000         | 1000      | 1000   |
| nombre de lampes               | 28            | 15      | 21           | 31      | 31           | 24        | 41     |
| nombre de luminaires           | 14            | 8       | 11           | 15      | 15           | 12        | 20     |
| $e_{max} = 1,2 \times H = 3,6$ | 1.7           | 2.4     | 2.4          | 1.6     | 1.6          | 3         | 3      |
| n                              | 3             | 2       | 2            | 3       | 3            | 3         | 3      |
| m                              | 4             | 4       | 5            | 5       | 5            | 4         | 7      |
| lampes installées              | 24            | 16      | 20           | 30      | 30           | 24        | 42     |

La puissance installée : 4536 W

Le nombre de lampes installées :

Tubes fluorescents de 0,6 m : 252

Etage 1 :

|                          | bureau 1&6 | secret attente | esp restau | cuisine | sas  | bureau 2à5 |
|--------------------------|------------|----------------|------------|---------|------|------------|
| Eclairement E (lux)      | 173        | 338            | 175        | 0       | 200  | 387        |
| longueur (L)             | 9.4        | 9.4            | 9.4        | 4.47    | 4.33 | 9.4        |
| largeur (l)              | 4.3        | 9.4            | 4.3        | 4.47    | 1.5  | 4.3        |
| hauteur (h)              | 3          | 3              | 3          | 3       | 3    | 3          |
| le flux $\Phi_u$ (lumen) | 6993       | 29866          | 7074       | 0       | 1299 | 15643      |
| indice du local K        | 0.98       | 1.57           | 0.98       | 0.75    | 0.37 | 0.98       |
| facteur d'utilisat° U    | 0.65       | 0.76           | 0.65       | 0.58    | 0.48 | 0.65       |
| rendement luminaire      | 0.83       | 0.83           | 0.83       | 0.83    | 0.83 | 0.83       |
| flux total F             | 12961      | 47346          | 13111      | 0       | 3261 | 28995      |
| flux unitaire f          | 1000       | 1000           | 1000       | 1000    | 1000 | 1000       |
| nombre de lampes         | 13         | 47             | 13         | 1       | 3    | 29         |
| nombre de luminaires     | 6          | 24             | 7          | 1       | 2    | 14         |
| emax = 1,2 x H= 3,6      | 2.2        | 3.0            | 2.0        |         | 2.0  | 2          |
| n                        | 2          | 3              | 2          |         | 1    | 2          |
| m                        | 3          | 8              | 3          |         | 2    | 7          |
| lampes installées        | 12         | 48             | 12         | 1       | 4    | 28         |

La puissance installée : 3618 W

Le nombre de lampes installées :

Tubes fluorescents de 0,6 m : 201

Etage 2 :

|                                | bur DG   | secret attente | salle reun 1 | salle reun 2 | archive | chambre | espace |
|--------------------------------|----------|----------------|--------------|--------------|---------|---------|--------|
| Eclairage E (lux)              | 268      | 410            | 268          | 136          | 0       | 100     | 200    |
| longueur (L)                   | 16.3     | 9.4            | 16.3         | 6.9          | 4.75    | 6.9     | 3.1    |
| largeur (l)                    | 6.9      | 9.4            | 6.9          | 6.9          | 3.1     | 3.57    | 2.8    |
| hauteur (h)                    | 3        | 3              | 3            | 3            | 3       | 3       | 3      |
| le flux $\Phi_u$ (lumen)       | 30141.96 | 36227.6        | 30141.96     | 6474.96      | 0       | 2463.3  | 1736   |
| indice du local K              | 1.62     | 1.57           | 1.62         | 1.15         | 0.63    | 0.78    | 0.49   |
| facteur d'utilisat° U          | 0.76     | 0.76           | 0.76         | 0.72         | 0.5     | 0.98    | 0.8    |
| rendement lumineux             | 0.83     | 0.83           | 0.83         | 0.83         | 0.83    | 0.83    | 0.83   |
| flux total F                   | 47784    | 57431          | 47784        | 10835        | 0       | 3028    | 2614   |
| flux unitaire f                | 3000     | 1000           | 1000         | 1000         | 1000    | 600     | 1000   |
| nombre de lampes               | 16       | 57             | 48           | 11           | 1       | 2       | 3      |
| nombre de luminaires           | 16       | 29             | 24           | 5            | 1       | 2       | 2      |
| $e_{max} = 1,2 \times H = 3,6$ | 3.5      | 3.0            | 2.3          | 3.5          |         |         | 2      |
| n                              | 2        | 3              | 3            | 2            |         |         | 1      |
| m                              | 8        | 9              | 8            | 3            |         |         | 2      |
| lampes installées              | 16       | 54             | 48           | 12           | 1       | 2       | 4      |

La puissance installée : 4182 W

Le nombre de lampes installées :

Tubes fluorescents de 0,6 m : 119

La puissance consommée par l'éclairage en considérant la lumière du jour :

| niveau          | locaux           | nbre de lampes | P <sub>un</sub> lampe (W) | P totale (W) | Fact utilisat° | P cons (W) |
|-----------------|------------------|----------------|---------------------------|--------------|----------------|------------|
| Sous sol        | salle sport      | 24             | 36                        | 877          | 0.25           | 219        |
|                 | archive          | 19             | 36                        | 702          | 0.25           | 175        |
|                 | parking          | 20             | 36                        | 706          | 1              | 706        |
|                 | vestiaire        | 11             | 60                        | 680          | 0.1            | 68         |
|                 | salle d'attente  | 42             | 18                        | 756          | 0.8            | 605        |
|                 | toilettes        | 6              | 60                        | 360          | 0.1            | 36         |
| rez de chaussée | salle reunion    | 24             | 18                        | 432          | 0.2            | 86         |
|                 | bureau dir. com. | 16             | 18                        | 288          | 1              | 288        |
|                 | bureaux          | 30             | 18                        | 540          | 1              | 540        |
|                 | secrétariat      | 20             | 18                        | 360          | 1              | 360        |
|                 | pool info (2)    | 48             | 18                        | 864          | 1              | 864        |
|                 | hall expo (2)    | 84             | 18                        | 1 512        | 1              | 1 512      |
|                 | attente          | 16             | 18                        | 288          | 1              | 288        |
|                 | toilettes        | 12             | 60                        | 720          | 0.1            | 72         |
| étage 1         | bureau 1 et 6    | 24             | 18                        | 432          | 1              | 432        |
|                 | bureau 2 à 5     | 112            | 18                        | 2 016        | 1              | 2 016      |
|                 | secrétariat      | 48             | 18                        | 864          | 1              | 864        |
|                 | restaurant       | 12             | 18                        | 216          | 0.13           | 28         |
|                 | cuisine          | 1              | 18                        | 18           | 0.5            | 9          |
|                 | sas              | 4              | 18                        | 72           | 1              | 72         |
|                 | toilettes        | 6              | 60                        | 360          | 0.1            | 36         |
| étage 2         | bureau DG        | 16             | 60                        | 960          | 1              | 960        |
|                 | archive          | 1              | 18                        | 18           | 0.2            | 4          |
|                 | chambre          | 2              | 18                        | 36           | 0.1            | 4          |
|                 | salle réunion 1  | 48             | 18                        | 864          | 0.2            | 173        |
|                 | salle réunion 2  | 12             | 18                        | 216          | 0.2            | 43         |
|                 | secrétariat      | 54             | 18                        | 972          | 1              | 972        |
|                 | SDB (DG)         | 6              | 60                        | 360          | 0.1            | 36         |
|                 | toilettes        | 8              | 60                        | 480          | 0.1            | 48         |

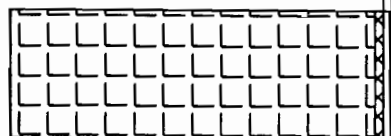
16 969 W 11 516



sous  
sol

ARCHIVES

ENTREE



ATTENTE

PARKING

SALLE  
SPORT

vestiaire  
femme

vestiaire  
homme

W C

W C

douche

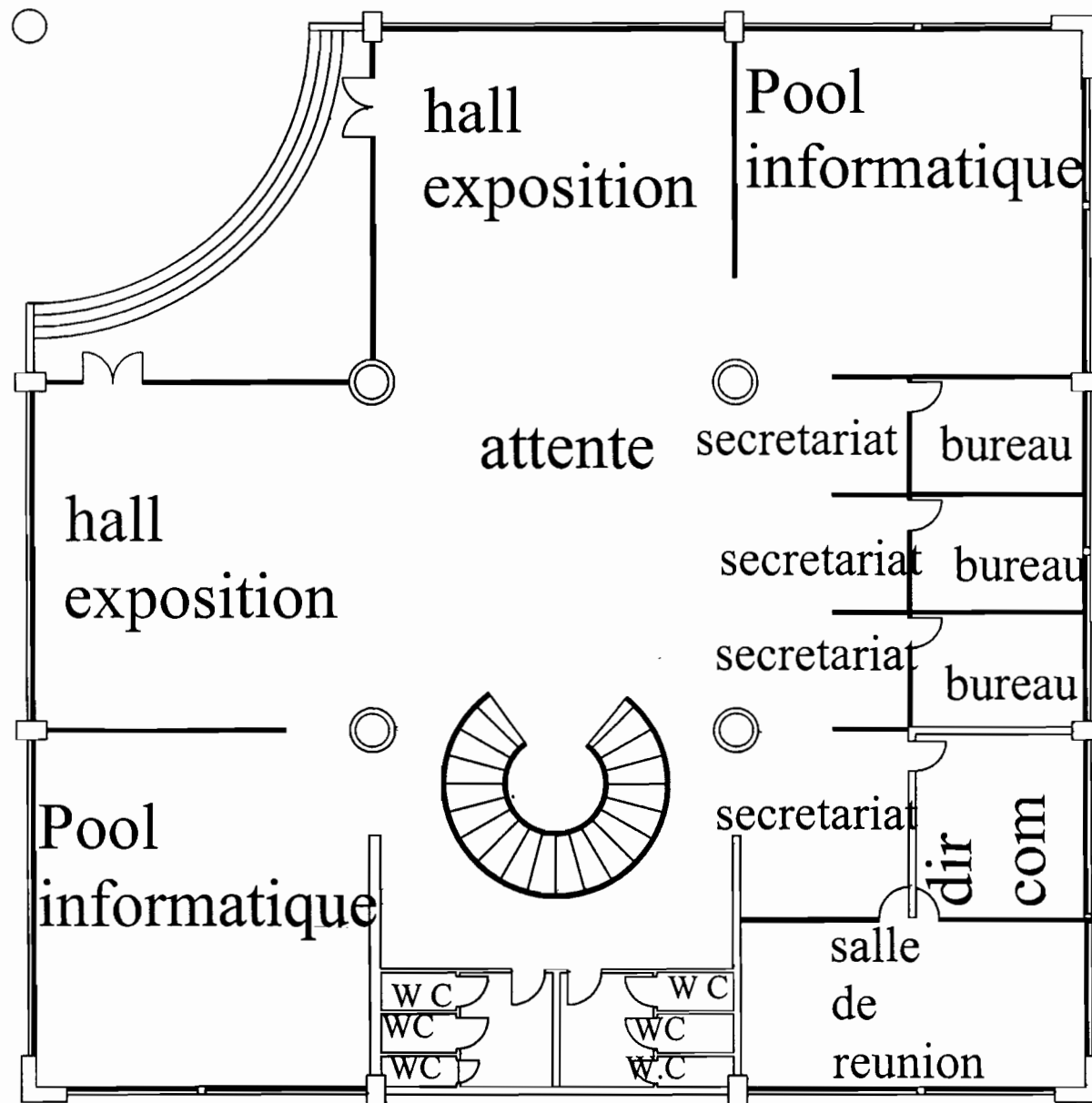
douche

douche

douche

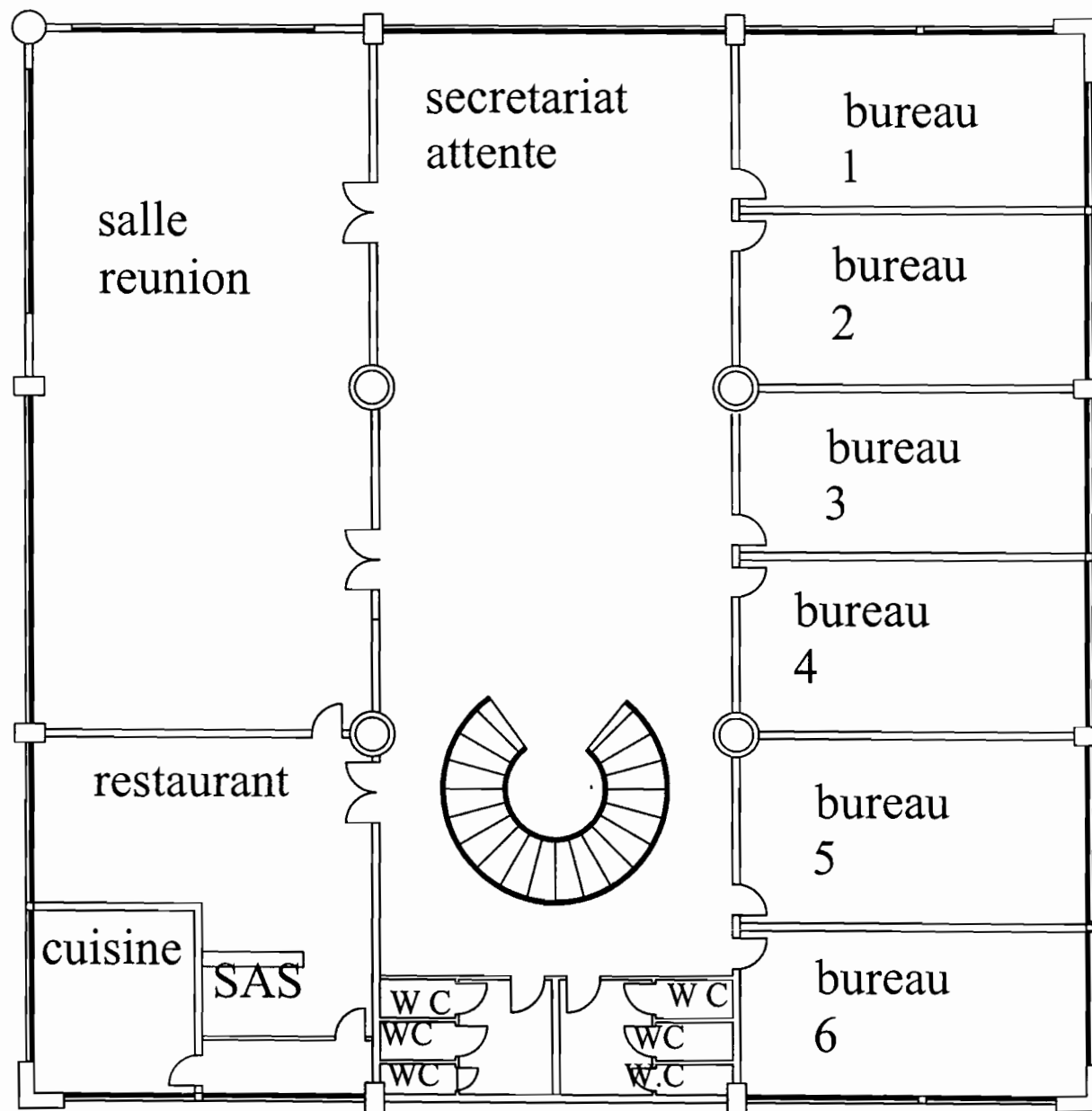
NORD

rez  
de  
chaussée



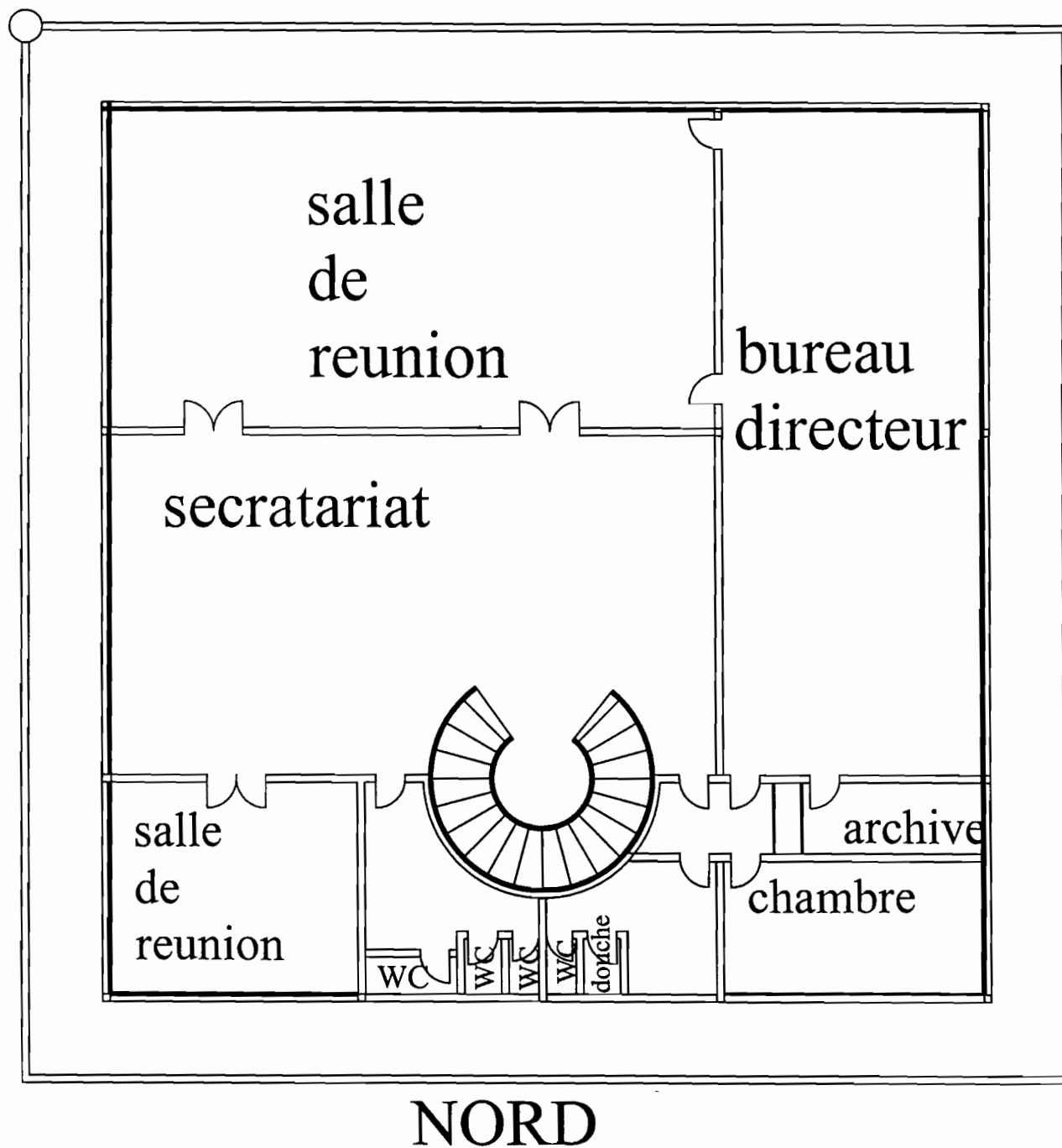
NORD

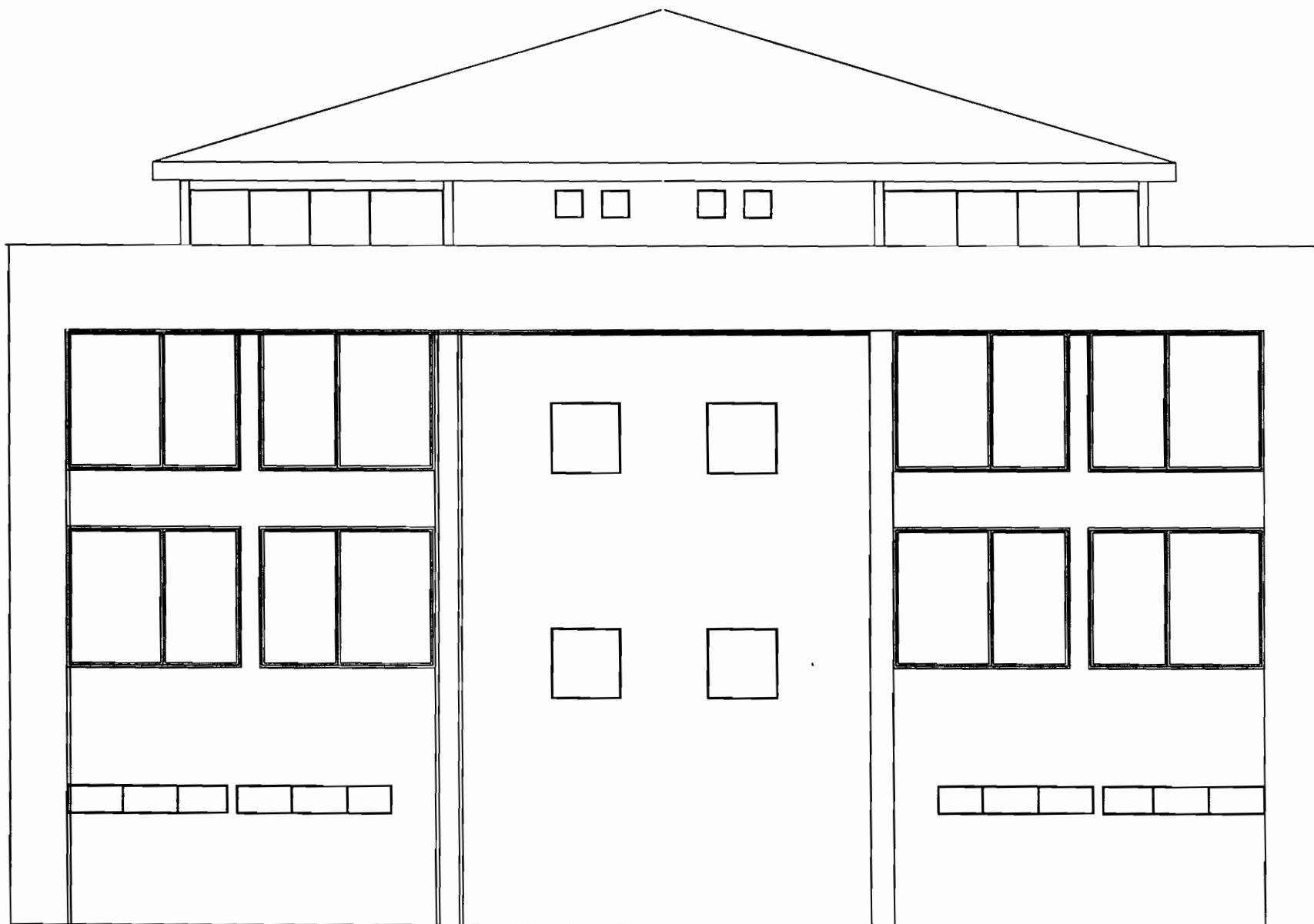
etage  
1



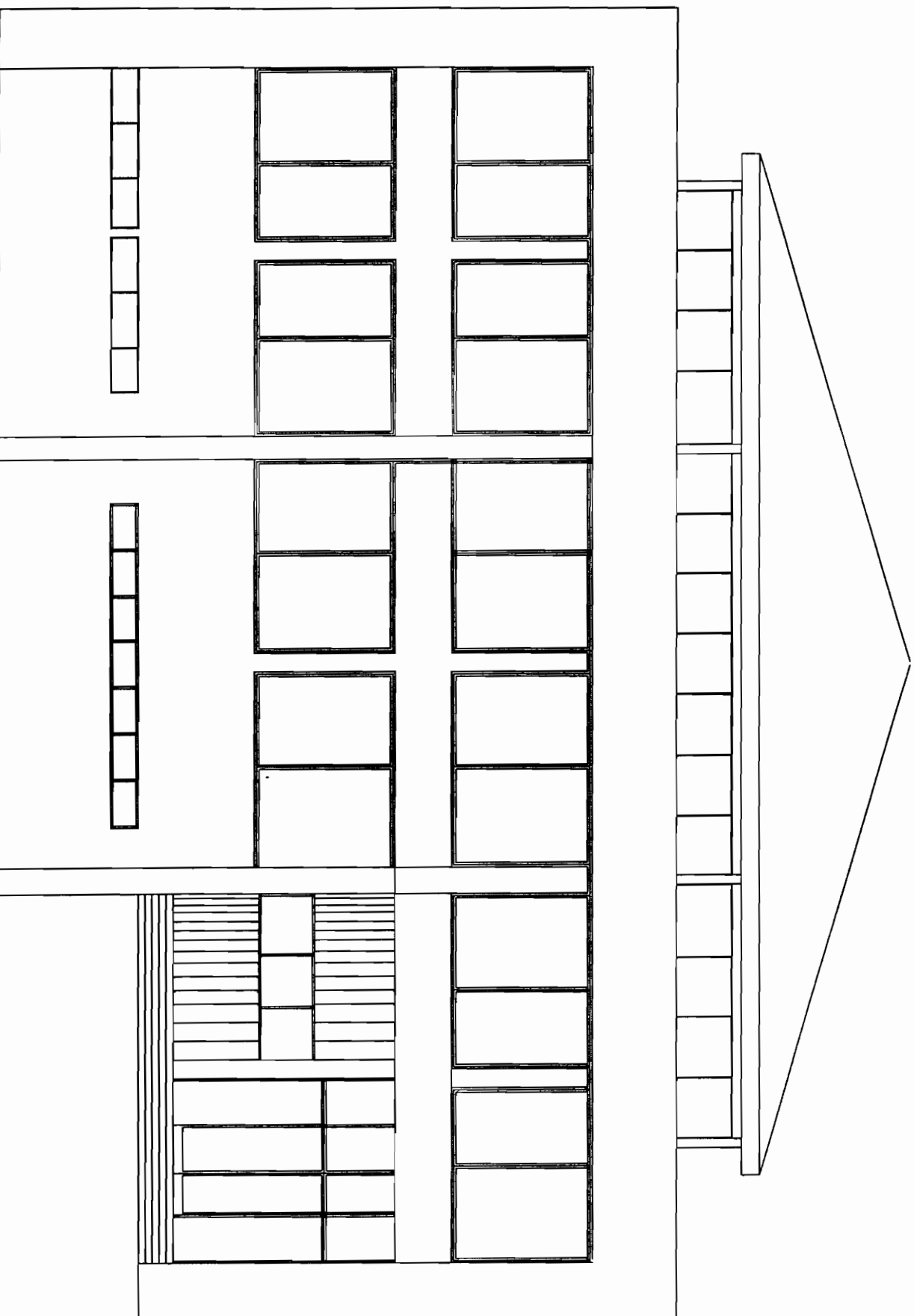
NORD

etage  
2

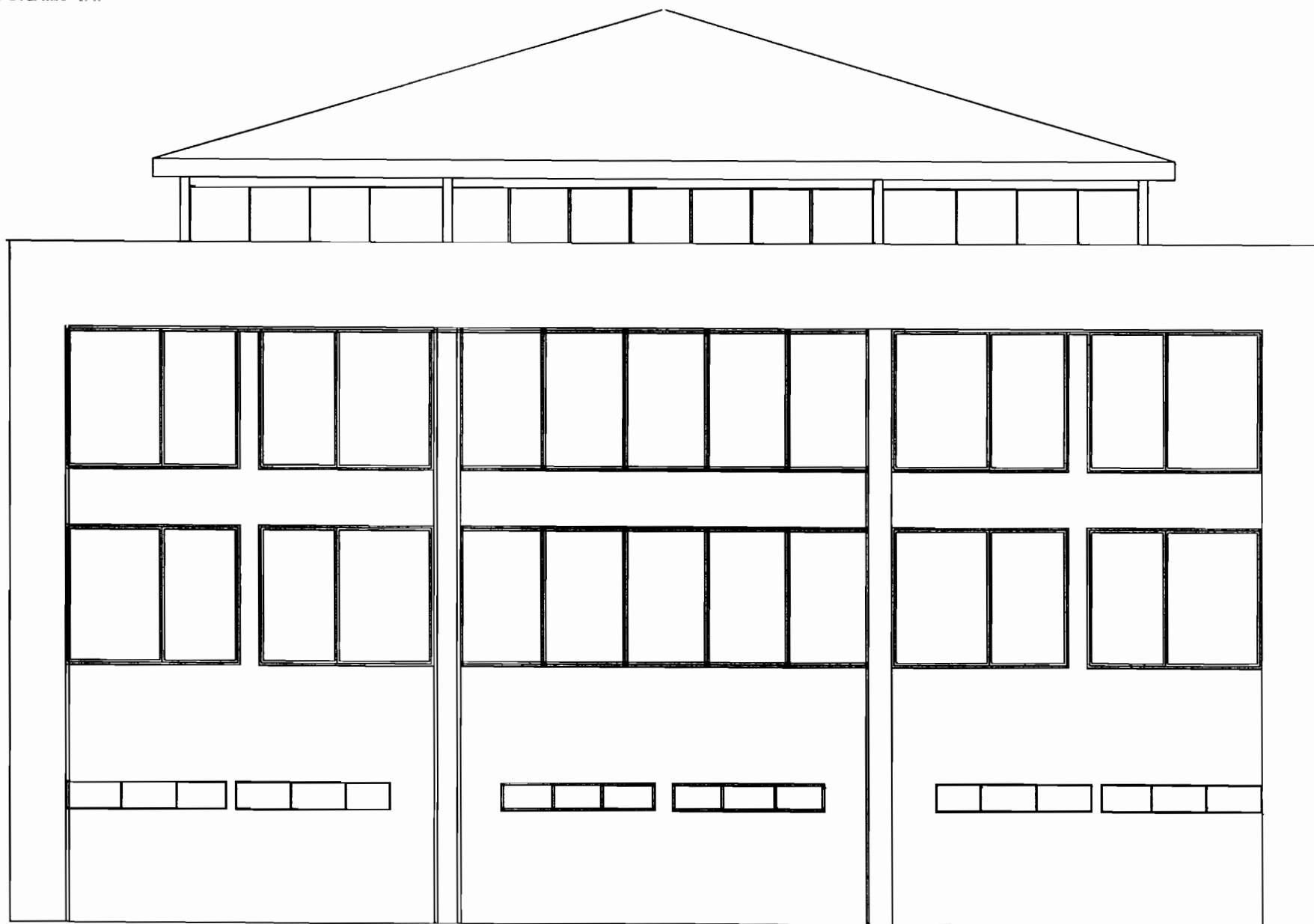




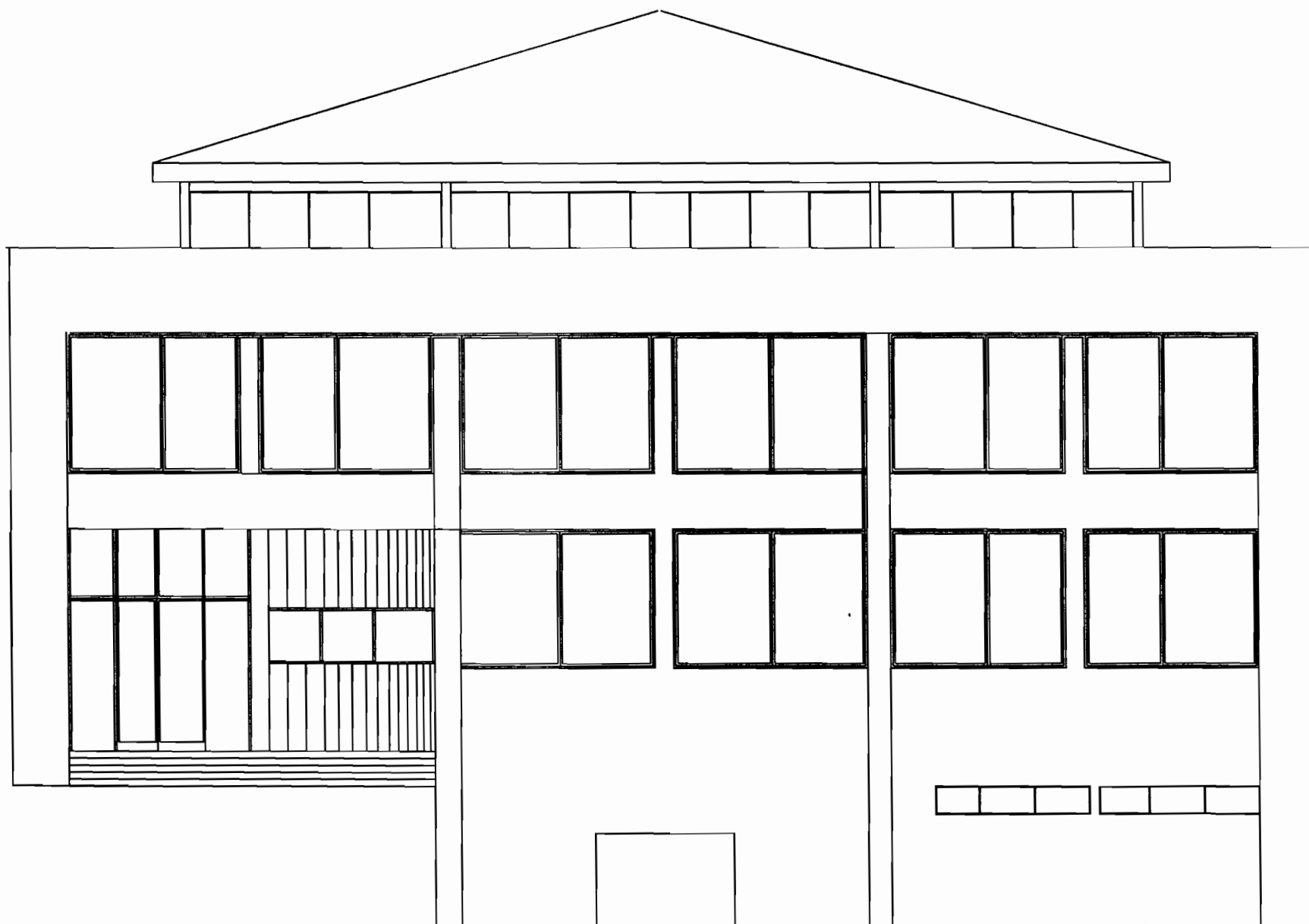
Facade nord



Facade sud



Facade est



Facade ouest



# **Bibliographie**

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Salif GAYE « Cours de transmission de chaleur » DIC 2 E.S.P. (Sénégal) :2004
  
- [2] Comité Français de l'Isolation « Guide pratique de l'isolation thermique des bâtiments ». Édition EYROLLES, paris 1977
  
- [3] R DEHAUSSE « Energétique des bâtiments » Tome 2 : « calcul des enveloppes », Édition PYC, 1988.
  
- [4] Roland WOLF 3 « Chauffage et conditionnement électriques des locaux » Édition EYROLLES, 1971.
  
- [5] D BADIANE « cours climatisation DUT 2 » E.S.P. (Sénégal) 2002
  
- [6] Technique de l'ingénieur : C910 (Daniel DALIGANEL)
  
- [7] technique de l'ingénieur : «Travaux neuf dans le bâtiment », C 3 315 :Eclairage naturel,2001
  
- [8] R DEHAUSSE « Energétique des bâtiments » Tome 1 : « calcul des enveloppes », Édition PYC, 1988.
  
- [9] G. PORCHER « Cours de climatisation : bases du calcul des installations de climatisation » les éditions parisiennes chaud -froid –plomberie (7ème édition)
  
- [10] Ursula Eicker «Solar technologies for buildings» édition WILEY , 2001
  
- [11] « Code ivoirien de qualité énergétique des bâtiments », annexe F : électricité, annexe DL : Eclairage électrique, annexe C : Enveloppe du bâtiment

[12] Fatou Dyana BA « Les économies d'énergie dans les bâtiments administratifs : Cas du Building Administratif de DAKAR » E.P.T. (Sénégal) 1992

[13]Réne BOURGEOIS ET Denis COGNIEL « mémetech électrotechnique » édition CASTEILLA , 6<sup>e</sup> édition octobre 2002

## WEBLIOGRAPHIE

<http://www.travaux.com/dossiers/climatisation/climatisation5.php>

<http://www-cenerg.ensmp.fr/francais/themes/syst/html/cles.htm>

[http://www.xpair.com/outils\\_log.php](http://www.xpair.com/outils_log.php)

<http://perso.club-internet.fr/patbor>

<http://www.tritoo.com/reponseannuaire.php?categorie=Immobilier&souscategorie=Climatisation>

[http://www.xpair.com/bilan\\_clim.php](http://www.xpair.com/bilan_clim.php)

<http://www2.univ-reunion.fr/~jlpocelle/Fichiers/TY-1.pdf>

<http://www.cybel.fr/html/produits/condairf.htm#systeme>

[http://www.berlaymont2000.com/fr/Home\\_Equipements\\_Elect.htm](http://www.berlaymont2000.com/fr/Home_Equipements_Elect.htm)

<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd212f.html>

<http://www.poweo.fr/index.phtml/section/Nos+conseils/content/Eclairage>

<http://www.thermexcel.com/french/ressourc/bilanth.htm>

<http://www.thermexcel.com/french/ressourc/deperdit.htm>

<http://www.sdv.fr/aimt67/dossier/eclairage.html#DEFINITIONS>