

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Institut de Technologie  
Département de Génie Civil



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : TECHNOLOGIE  
Filière : GENIE CIVIL  
Spécialité : STRUCTURE

Thème

**Etude technique et bilan thermique d'un bâtiment à  
façade légère.**

**Présenté Par :**

- 1) Cherifi ismail
- 2) belhachemi mohammed Amine

**Devant les jurys composés de :**

Mme Taharberrabah	C U B B (Ain temouchent) president
Mme Kazi Tani	C U B B (Ain temouchent) Encadrant
Melle Abdelbari	C U B B (Ain temouchent) Exmaminateur

*Année universitaire 2017/2018*

# Remerciements

Avant tout, tenons à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage pour mener à terme ce modeste travail.

On remercie cordialement nos parents qui nous ont aidé et soutenus pendant nos études. Ainsi que toute notre famille. Toute mon affection.

On adresse nos reconnaissances et nos remerciements à notre encadreur Mme Kazi Tani pour toutes les suggestions et remarques qu'elle a formulé tout au long de ce travail

On remercie les membres du jury qui nous font l'honneur de juger ce travail.

Nos sincères gratitude vont vers tous ce qui ont participé de près ou de loin à ce travail.

## Résumé :

Le présent projet de fin d'études traite l'étude et le bilan thermique pour le mur-rideau en verre et en aluminium qui s'avère l'un des parements les plus performants et populaires pour les bâtiments commerciaux et les tours d'habitation.

La conception a été faite selon les règlements de constructions (RPA99 version 2003, BAEL91...) avec une étude thermique sur ce genre de structure basée sur le DTR C3-T (règlementation thermique du bâtiment).

En Algérie, où la facture énergétique pèse lourd dont une partie de cette énergie sert aux besoins de chauffage et de climatisation la solution serait d'agir alors sur les déperditions et les apports thermiques du bâtiment, de sorte qu'il soit énergétiquement efficace, on pourra donc réduire la consommation énergétique.

Mots clés : Mur rideau, béton armé, SAP2000, bilan thermique.

## المخلص

مشروع نهاية الدراسة يعالج دراسة التوازن الحراري للجدران الستارية المركبة من الزجاج و الالومنيوم التي تعتبر التلبيس الأكثر فعالية و استعمالا في المباني التجارية و البروج السكنية.

التصميم كان وفقا للقوانين الخاصة بالبناء (RPA99 version 2003, BAEL91...)

مع دراسة حرارية مبنية على DTR C3-T

في الجزائر حيث الفاتورة الطاقوية تعتبر حملا ثقيلًا فجزء منها يغطي حاجة التدفئة و التكييف. فالحل يكمن في التصرف ضد فقدان الحرارة الموجودة في المبنى بحيث يكون هذا الأخير فعالا طاويا حينئذ يمكننا تخفيض استهلاك الطاقة.

الكلمات المفتاحية: الجدران الستارية, الخرسانة المسلحة, ساب 2000, التوازن الحراري.

## **Abstract**

This end of studies project treats the thermal balance of curtains wall who's made of glass and aluminium which turns out to be one of the best and must popular coatings used in the comercial buildings and residentiel tower.

The conception was made according to the building regulations (RPA99 version 2003, BAEL91...) with a thermal study based on DTR C3-T.

In Algeria where the energy bill weighs heavy which part of this energy is used to cover the need for heating and air conditioning. The solution would be to act against thermal losses and heats gains in buildings.

So that the building is enegy efficient, we can therfore reduce the energy consumption.

**Keywords :** curtains wall, reinforced concrete, SAP2000, thermal balance.

# Sommaire

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
I.1. Présentation de l'ouvrage .....	12
I.2. Implantation du bâtiment .....	13
I.3. Caractéristiques géométriques du bâtiment .....	13
I.4. Système structurel .....	15
I.5. Règlements utilisés .....	15
I.6. Caractéristiques géotechnique du sol .....	15
CHAPITRE II : Pré dimensionnement des éléments de la structure .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II.1. Introduction .....	16
II.2. Les Planchers .....	16
<b>II.2.A. Evaluation des charges et surcharges</b> .....	17
<b>A. Plancher terrasse inaccessible</b> .....	17
II.3. Les poutres .....	18
II.4. Les poteaux .....	19
II.5. Pré dimensionnement des voiles .....	22
CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DES .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ELEMENTS NON STRUCTURAUX .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III .1. Etude des escaliers .....	32
<b>III .1. A. Evaluation Des Charges Et Surcharges</b> .....	32
<b>III .1. B Calcul des sollicitations</b> .....	33
<b>III .1. C. Le ferrailage</b> .....	35
III .2. Etude du balcon .....	23
III .2. A. Descente de charge .....	23
III .2. B. Calcul des sollicitations .....	23
III .2.C. Ferrailage .....	23
III .3. Etude de l'acrotère .....	25
<b>III .2.A. Calcul des sollicitations</b> .....	26
III .2. B. Calcul du ferrailage .....	26
CHAPITRE IV : LES PLANCHERS .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
IV.1. Introduction .....	29
IV.2. Calcul des poutrelles. ....	29
IV.2.A. Combinaisons d'actions .....	29
IV.2.B. Calcul du ferrailage .....	30
CHAPITRE V : ETUDE DYNAMIQUE .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

V .1.Introduction .....	38
V.2. Choix de la méthode de calcul.....	38
V.3. Présentation de la méthode modale spectrale .....	38
V.4. Modélisation de la structure .....	39
V.4.A. Etapes de modélisation .....	39
<b>V.4.B. Spectre de réponse</b> .....	40
<b>V.4.C. Disposition des voiles</b> .....	41
V.4.D. Vérification de la période : .....	41
V.5. Conclusion.....	43
CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
STRUCTURAUX .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
VI.1. Introduction.....	44
VI.2. Ferrailage des poteaux .....	44
VI.2.A. Combinaisons des charges.....	44
VI.3. Ferrailage des poutres .....	48
<b>VI.3.A. Combinaisons des charges</b> .....	49
<b>VI.3.B. Résultats du ferrailage</b> .....	49
VI.4. Ferrailage des voiles.....	51
VI.4.A. Ferrailage vertical.....	52
VI.4.B. Ferrailage horizontal.....	52
VII.1. Etude des fondations .....	57
VII.2. Combinaisons des charges .....	57
VII.3. Choix du type de fondations .....	57
VII.4. Calcul du radier.....	58
VII.4.A. Pré dimensionnement du radier.....	58
VII.4.B. Surface du radier .....	58
VII.4.C. Épaisseur du radier .....	59
VII.5. Vérifications diverses .....	60
VII.5.A. Vérification des contraintes .....	60
VII.6.Ferrailage du radier.....	60
VII.7.Conclusion .....	62
Introduction .....	63
Chapitre I : Notions de base.....	67
I .2 Flux de chaleur :.....	67
I .3 Coefficient de conductivité.....	67

I .4	Résistance thermique.....	68
I .5	Coefficient de transmission surfacique K : .....	68
I .6	Les déperditions calorifiques :.....	68
I .7	L'impact de l'orientation d'un bâtiment : .....	68
Chapitre II : Technique du mur rideau .....		71
II .1	Origine du mur rideau .....	71
II .2	Définition du mur rideau .....	73
II .3	Type de vitrage.....	74
II.4	Principes de conception d'un mur extérieur.....	74
II.5	Les façades rideaux à ossature « grille » .....	75
II.6	Les façades rideaux à ossature « cadre » .....	75
II.7	Les éléments de remplissage.....	76
II.8	Assurer l'étanchéité.....	77
II.9	Assurer la sécurité.....	78
	<b>a. Sécurité au vent</b> .....	78
	<b>b. Sécurité au bris de glace</b> .....	78
	<b>c. Sécurité au vandalisme et à l'effraction</b> .....	79
II.10	limiter la transmission du bruit.....	79
	<b>a. Isolement aux bruits extérieurs</b> .....	79
	<b>b. Isolement aux bruits intérieurs :</b> .....	79
Chapitre III : Choix du mur rideau : (ossature et vitrage) .....		81
III.1	Les murs rideaux se composent de vitrage et d'un support en alluminium.....	81
III.2	Le double vitrage, la référence en matière de vitrage: .....	81
III.3	L'isolation thermique et le développement durable : .....	82
III.4	L'équilibre thermique d'un local :.....	82
Chapitre IV : Document technique réglementaire D.T.R.C3-2. ....		83
IV.1	Généralités :.....	83
IV.2	Objet de D.T.R.C3-2 et domaine d'application.....	83
IV.3	Conventions :.....	83
IV.4	Méthodologie.....	84
IV.5	Expressions générales des déperditions.....	84
IV.6	Vérification et déperdition de référence : .....	85
IV.7	Calcul des déperditions de base :.....	86

Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2 .....	88
V.1 Calcul des Coefficient de transmission surfacique K .....	88
V.2 Calcul des déperditions .....	90
V.2 Déperditions surfaciques au niveau des poteaux .....	96
V.3 Déperditions linéique (DL).....	96
V.4 Calcul des déperditions de référence :(Dréf).....	97
V.5 Déperditions totales :.....	97
V.6 Calcul des déperditions par renouvellement d'air :.....	98
ChapitreVI : Calcul de la puissance de chauffage .....	101
6.1 Puissance du chauffage selon le DTR :.....	101
VI.2 Puissance du chauffage avec le degré jour :.....	101
VI.3 Coefficients caractérisant les performances énergétiques d'un bâtiment .....	101
V.6 Gains dus aux machines électriques .....	108
Conclusion :.....	110

Figure 1 façade ouest	12
Figure 2 plan de situation	13
Figure 3 vue en plan RDC	14
Figure 4 façade est	14
Figure 5 : poutrelle	29
Figure 6 spectre de réponse	40
Figure 7 Disposition des voiles	41
Figure 8 Schéma d'une maille de voile	53
Figure 9 Schéma des contraintes développées dans un voile	54
Figure 10 Cage Group Buildings Chicago, Illinois, Holabird and Roche, (1899)	71
Figure 11 L'usine de souliers Fagus, Allemagne, Walter Gropius et Adolf Meyer (1911)	71
Figure 12 Hallidie Building, San Francisco, Californie, Willis Polk, 1918	72
Figure 13 860-880 Lake-Shore Drive, Chicago, Illinois	72
Figure 14 Les résistances d'échanges superficiels	83
Figure 15 Les différents postes de déperdition	85
Figure 16 Les valeurs de la température extérieure de base	87
Figure 17 récapitulatif des température sur une année, Oran	102

### Liste des tableaux.

Tableau 1 Sollicitations de la poutrelle	30
Tableau 2 Armatures longitudinales	30
Tableau 3 Efforts internes à l'ELU (Situation durable)	46
Tableau 4 Efforts internes sous G+Q±E (situation accidentelle)	46
Tableau 5 Efforts internes sous 0.8G±E (situation accidentelle)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 6 Les résultats de ferrailage des poteaux	46
Tableau 7 Vérification des contraintes de cisaillement dans les poteaux	47
Tableau 8 Les résultats de ferrailage transversale des poteaux	48
Tableau 9 Ferrailage des poutres	49
Tableau 10 Ferrailage vertical de voile	55
Tableau 11 Vérification de la contrainte de cisaillement dans les voiles	55
Tableau 12 Ferrailage horizontal des voiles	56
Tableau 13 Ferrailage radier	61

## **Introduction générale :**

En matière de revêtement de bâtiments, les murs-rideaux ont la cote actuellement, ils constituent l'un des parements les plus performants et offrent de nombreuses possibilités sur le plan architectural.

Le mur-rideau moderne se veut un produit de haute ingénierie fondé sur des procédés industriels raffinés et des notions de production en série, de normalisation, d'outillage et d'usinage précis qui répondent aux concepts toujours plus audacieux des architectes.

Les avantages sont nombreux, en plus de faire entrer beaucoup de lumière, c'est un matériau léger qui nous permet plus de flexibilité avec une installation rapide (possibilité de faire plusieurs étages en quelques jours) cela permet de fermer le bâtiment plus rapidement avec un impact positif sur le coût du projet.

Le présent travail est une étude d'un bâtiment RDC +8+sous-sol implanté à ORAN composé d'une façade en murs rideaux. Cette dernière se divise en deux volets :

Le 1<sup>er</sup> Volet a pour objet une étude complète de la structure de ce projet en commençant avec une présentation de l'ouvrage et les caractéristiques des matériaux utilisés, on détaille ensuite la conception du système structural suivi par l'étude dynamique avec le logiciel SAP2000 qui nous mènera aux ferrailages des éléments structuraux. En dernier, on choisit le type de fondation qui assurera la sécurité de la structure.

Le 2<sup>ème</sup> volet commence par des notions de base sur le transfert de chaleur suivi par une présentation de la façade légère ainsi qu'une analyse sur l'organisation spatiale et constructive des façades, leurs enjeux et leur typologie. Le calcul détaillé du bilan thermique viens compléter ce volet pour aboutir à des estimations de puissances de chauffage et de climatisation.

Et nous finirons avec des analyses de résultats obtenus et quelques recommandations.

# **Première partie : Etude de la structure**

# CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

## I.1. Présentation de l'ouvrage

Notre projet consiste à étudier et à calculer un ouvrage de RDC+8 avec sous sol à usage administratif en intégrant un nouveau design par l'utilisation des murs rideaux en cherchant des solutions aux problèmes engendrés par le fort ensoleillement pendant l'été et surtout on essaye de trouver un compromis pour rester dans le confort thermique pendant toutes les saisons afin de minimiser la consommation énergétique du bâtiment. Ce qui est un gain sur le plan économique mais aussi écologique et qui réduit l'impact de la construction sur l'environnement à court et à long terme.

Le bâtiment est classé en groupe d'usage 2.

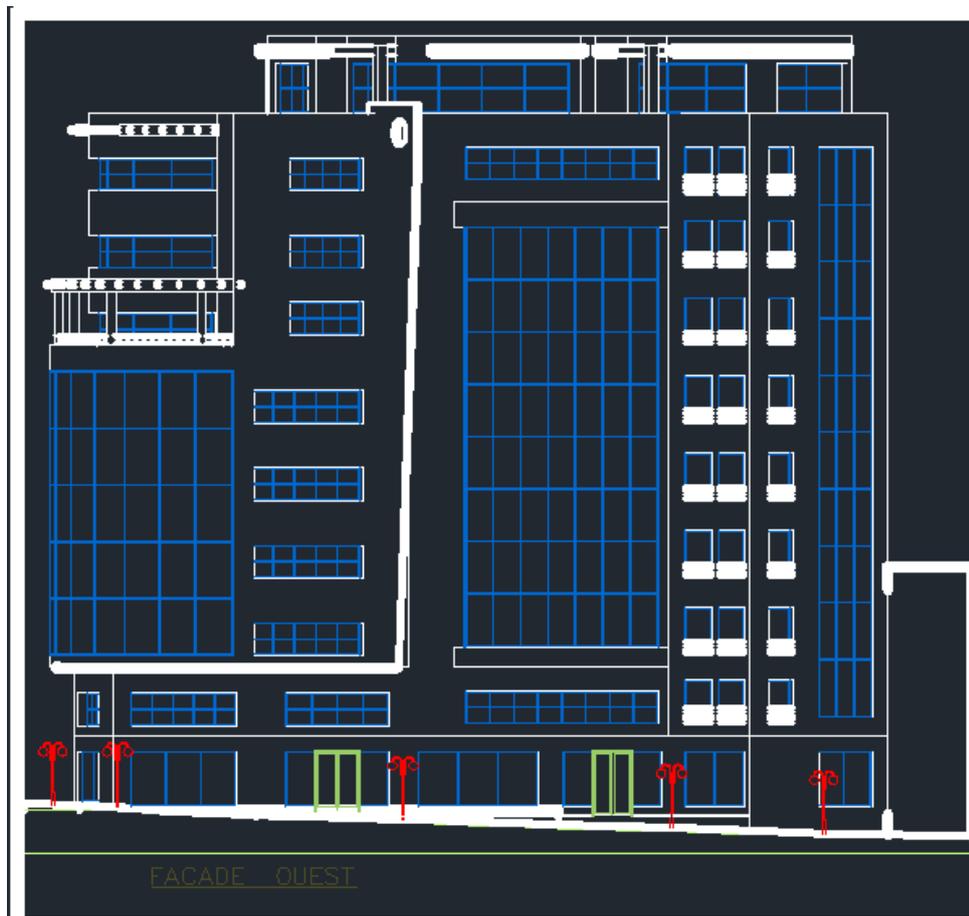


Figure 1 Façade ouest

## CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

### I.2. Implantation du bâtiment

Implanté à 5 ZHUN USTO coopérative ADNANE MOSTAPHA, Oran ce bâtiment est constitué d'un sous-sol « parking », d'un accueil et de deux « show room » au rez-de-chaussée et des bureaux pour le reste des étages.



Figure 2 Plan de situation

### I.3. Caractéristiques géométriques du bâtiment

- En plan :

La longueur de la construction 32.01 m

La largeur de la construction 20.21 m

## CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

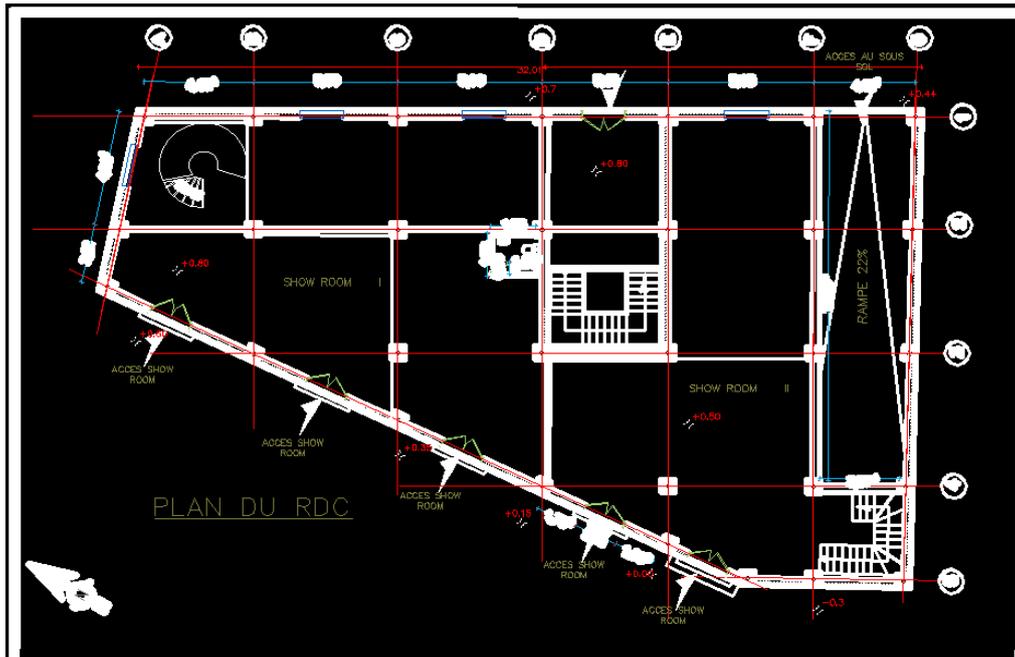


Figure 3 Vue en plan RDC

- **En élévation :**  
Hauteur totale de la construction 30.16 m  
Hauteur du sous-sol 2.80 m  
Hauteur du rez-de-chaussée 3.20 m  
Hauteur étage courant 3.37 m



Figure 4 Façade est

## **CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET**

### **I.4. Système structurel :**

La structure résistante est constituée par des portiques et des voiles en béton armé afin d'assurer la stabilité de l'ensemble sous l'effet des actions verticales et des actions horizontales.

### **I.5. Règlements utilisés :**

Le présent projet est élaboré et établi suivant les règles de calculs et de conception qui sont en vigueur actuellement en Algérie à savoir :

Le C.B.A 93 ;

D.T.R-B.C.2.48 : « Règles Parasismique Algériennes 1999 version 2003 ».

BAEL 91. : Béton armé aux états limite ;

DTR-B.C2.2 : « charges permanentes et d'exploitation ».

EURO CODE 2-2004.

DTR 3-2 thermique.

### **I.6. Caractéristiques géotechnique du sol**

- Contrainte admissible  $\sigma = 2$  bars
- Poids volumique  $\gamma = 17$  KN/m<sup>3</sup>
- La cohésion du sol est nulle
- Aucune nappe d'eau n'a été trouvée

## CHAPITRE II : Pré dimensionnement des éléments de la structure

### II.1. Introduction

D'après le CBA 93 et le RPA 99/ version 2003, le pré dimensionnement pour les sections des éléments résistants a comme objectif principal le pré calcul pour l'évaluation des sollicitations (charges et surcharges). Ce dernier précède le calcul exact, qui vérifie la résistance, la stabilité et la durée de l'ouvrage. Ce calcul préliminaire concerne :

- Planchers ;
- Poutres ;
- Poteaux ;
- Voiles.

### II.2. Les Planchers :

**Planchers à corps creux** : le pré dimensionnement des planchers se fait à partir de la condition de rigidité. Selon les conditions admissibles citées par le B.A.E.L 91 on a

$$\frac{L}{25} \leq ht \leq \frac{L}{20}$$

Ht : hauteur du plancher

$L_{\max}$  : 5.64 m

$$0.22 \leq ht \leq 0.28$$

On prend H=25 cm (20 cm corps creux + 5 cm dalle de compression).

#### Dalle pleine :

D'après les règles BAEL 91 on a :

$L_x$  : la plus petite dimension de la dalle

$L_y$  : la plus grande dimension de la dalle

si  $\frac{L_x}{L_y} \leq 0.4$  la dalle travaille suivant un seul sens

si  $\frac{L_x}{L_y} > 0.4$  la dalle travaille suivant deux sens ce qui est notre cas

**L'épaisseur de la dalle :**

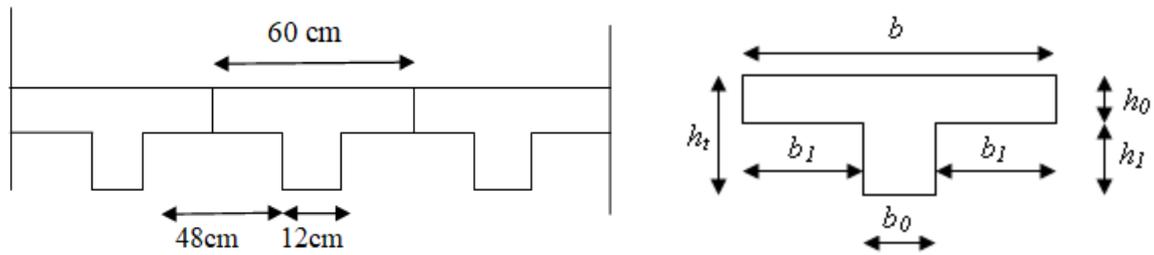
$$h = \left[ \frac{L_y}{40}; \frac{L_y}{45} \right]$$

$L_y = 478$  cm donc  $h = [11.09 ; 10.62]$  on prend  $h = 15$  cm

#### Les poutrelles

La hauteur de la poutrelle est la même que celle du plancher.

## CHAPITRE II : Pré dimensionnement des éléments de la structure



On choisit :

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$h_0 = 5 \text{ cm}$$

$$b_0 = (0.3 ; 0.5) d \quad d = 0.9 \cdot h_t = 22.5 \text{ cm}$$

$$b_0 = (6.75 ; 11.25) \text{ on prend } b_0 = 12 \text{ cm}$$

$$b_1 = \min \left[ \frac{L}{10} ; \frac{l}{2} \right]$$

$$L = 564 \text{ cm} \quad l = 60 - 12$$

$$b_1 = \min [56.4 ; 24] \quad b_1 = 24 \text{ cm}$$

D'après le R.P.A 99 V2003 le  $b_1$  min doit satisfaire les conditions suivantes :

$$b_1 < \frac{b-b_0}{2} \quad \rightarrow \quad b_1 \leq 24 \text{ cm} \quad \text{CV}$$

$$b_1 < \frac{L}{10} \quad \rightarrow \quad b_1 \leq 56.4 \text{ cm} \quad \text{CV}$$

$$b_1 < (6 \cdot h_0 ; 8 \cdot h_0) \quad \rightarrow \quad b_1 \leq (30, 40) \text{ cm} \quad \text{CV}$$

### II.2.A. Evaluation des charges et surcharges

#### A. Plancher terrasse inaccessible

Protection gravillon	EP=5cm	5 x 0, 20= 1 KN/m <sup>2</sup>
Etanchéité multicouche	EP=2cm	0,02 x 6=0,12 KN/m <sup>2</sup>
Forme de pente	EP=10cm	0,10 x 22=2,2KN/m <sup>2</sup>
Plancher (20+5)	EP= 25 cm	3,60KN/ m <sup>2</sup>
Enduit en plâtre	EP=2cm	0,02 x 10=0,2KN/m <sup>2</sup>

$$G = 7.12 \text{ KN/m}^2 \quad P = 1 \text{ KN/m}^2$$

## CHAPITRE II : Pré dimensionnement des éléments de la structure

### B. Plancher Etage Courant

Carrelage	EP=2cm	0.02x22=0.44 KN/m <sup>2</sup>
Mortier de pose	EP=2cm	0.02x20=0.40 KN/m <sup>2</sup>
Un lit de Sable fin	EP=2cm	0.02x0.18=0.34 KN/m <sup>2</sup>
Plancher (20+5)	EP=25cm	3.60 KN/m <sup>2</sup>
Enduit en plâtre	EP=2cm	0.02x10=0.2 KN/m <sup>2</sup>
Cloison en brique creux	EP=10cm	0.1x9 =0.9 KN/m <sup>2</sup>

$$G=5.88 \text{ KN/m}^2$$

$$P= 2.5 \text{ KN/m}^2$$

### C. Plancher dalle pleine :

Mortier de ciment de pose	EP=2cm	0.02x20=0.40 KN/m <sup>2</sup>
Carrelage	EP=2cm	0.02x22=0.44 KN/m <sup>2</sup>
Un lit de Sable fin	EP=2cm	0.02x0.18=0.34 KN/m <sup>2</sup>
Dalle pleine	EP=15cm	0.15x25=3.75 KN/m <sup>2</sup>
Enduit en plâtre	EP=1cm	0.02x10=0.2 KN/m <sup>2</sup>
Cloison de séparation	EP=10cm	0.1x9 =0.9 KN/m <sup>2</sup>

$$P_{\text{courant}} = 2.5 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{\text{balcon}} = 3.5 \text{ KN/m}^2$$

$$G = 5.75 \text{ KN/m}^2$$

### II.3. Les poutres

D'après les règles de B.A.E.L 91 on a :

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10}$$

## CHAPITRE II : Pré dimensionnement des éléments de la structure

$$0.4h \leq b \leq 0.7h$$

Avec :

- L : distance entre nus de poteaux et on choisit la plus grande portée.
- h : hauteur de la poutre
- b: largeur de la poutre

### Les poutres principales

on a  $L = 595$  cm donc on a  $39 \text{ cm} \leq h \leq 59 \text{ cm}$   
on prend  $h = 50$  cm

et  $20 \text{ cm} \leq b \leq 35 \text{ cm}$   
on prend  $b = 35$  cm

**La dimension de la poutre doit satisfaire à la condition du R.P.A 99 V2003 :**

$$b \geq 20 \text{ cm} \quad \text{cv}$$

$$h \geq 30 \text{ cm} \quad \text{cv}$$

$$\frac{h}{b} \leq 4 \quad \text{cv}$$

### Poutre secondaire

on a  $L = 564$  cm donc on a  $37.6 \text{ cm} \leq h \leq 65.4 \text{ cm}$   
on prend  $h = 45$  cm  
et  $18 \text{ cm} \leq b \leq 31.5 \text{ cm}$   
on prend  $b = 30$  cm

$$b \geq 20 \text{ cm} \quad \text{cv}$$

$$h \geq 30 \text{ cm} \quad \text{cv}$$

$$\frac{h}{b} \leq 4 \quad \text{cv}$$

### II.4. Les poteaux :

D'après le BAEL 91 l'effort normal  $N_u$  est obtenu par la formule suivante :

$$Nu \leq \alpha \left[ \frac{Br \cdot Fc28}{0.9\gamma b} + \frac{AF_e}{\gamma_s} \right]$$

$B_r$  : la section réduite du béton

## CHAPITRE II : Pré dimensionnement des éléments de la structure

$$B_r = (b-2.5) \times (a-2.5) \text{ cm}^2$$

$\alpha$  : facteur réducteur affectant  $N_u$  il est en fonction de l'élanement  $\lambda$

$$\lambda \leq 50 \quad \alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}$$

$$50 \leq \lambda \leq 70 \quad \alpha = \frac{1500}{\lambda^2}$$

On fixe :  $\lambda = 35$

Pour que toutes les armatures participent à la résistance on a :

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2 \left(\frac{35}{35}\right)^2} = 0.708$$

On prend le pourcentage d'armature :  $\frac{A}{B_r} = 1\%$

$$\rightarrow B_r \geq \frac{N_u}{\alpha \left[ \frac{f_c 28}{0.9 \gamma_b} + \frac{A f_e}{100 \gamma_s} \right]}$$

Avec :  $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

$f_e = 400 \text{ MPa}$

$\gamma_s = 1.15$

$\gamma_b = 1.5$

$B_r \geq \frac{N_u}{1.557}$  avec  $N_u$  en KN

$$N_u = (1.35G + 1.5P) \cdot S_{\text{aff}} \cdot n + 1.35(G_{\text{pp}} + G_{\text{ps}}) \cdot n$$

$G_{\text{pp}}$  : poids propre de la poutre principale

$G_{\text{ps}}$  : poids propre de la poutre secondaire

$n$  : nombre d'étages

### Loi de dégression :

Elle s'applique aux bâtiments à grand nombre de niveaux ou les occupations des divers niveaux peut être considérées comme indépendante, c'est le cas des bâtiments à usage d'habitation ou d'hébergement.

Soit  $Q_0$  la charge d'exploitation sur la terrasse courante du bâtiment  $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ , les charges d'exploitations respectives des planchers des étages 1, 2, 3...n, numérotés à partir du sommet du bâtiment.

On a optera pour le calcul des points d'appui les charges d'exploitation suivantes :

## CHAPITRE II : Pré dimensionnement des éléments de la structure

Sous terrasse :  $Q_0$ .

Sous dernier étage (étage) :  $Q_0 + Q_1$ .

Sous étage immédiatement inférieur :

$$\text{(étage 2) : } Q_0 + 0.95 (Q_1 + Q_2).$$

$$\text{(étage 3) : } Q_0 + 0.90 (Q_1 + Q_2 + Q_3).$$

$$\text{(étage 4) : } Q_0 + 0.85(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)$$

$$\text{(étage n) : } Q_0 + \left[ \frac{3+n}{2n} \right] (Q_0 + Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n).$$

Le coefficient  $\frac{3+n}{2n}$  étant valable pour :  $n \geq 5$ .

**Remarque : Pour des raisons d'économie les sections des poteaux diminuent comme suit →**

Type 1 : (sous sol, RDC, 1<sup>er</sup> étage).

Type 2 : (2<sup>ème</sup> étage, 3<sup>ème</sup> étage, 4<sup>ème</sup> étage)

Type 3 : (5<sup>ème</sup> étage, 6<sup>ème</sup> étage, 7<sup>ème</sup> étage)

Type 4 : (7<sup>ème</sup> étage)

$$G_{pp} = 0.5 \times 0.4 \times 5.95 \times 25 = 29.75 \text{ KN}$$

$$G_{ps} = 0.45 \times 0.35 \times 5.64 \times 25 = 22.20 \text{ KN}$$

$$S_{aff} = 29.6 \text{ m}^2$$

$$G_{cumulé} = 60 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{cumulé} = 23.5 \text{ KN/m}^2$$

$$N_G = 60 \times 29.6 + (29.75 + 22.20) \times 10 = 2296.68 \text{ KN}$$

$$N_P = 23.5 \times 29.6 = 695.6 \text{ KN}$$

$$N_u = 1.35 \times 2296.68 + 1.5 \times 695.6 = 4143.92 \text{ KN}$$

$$\frac{N_u}{1.557} = 2661.47 \text{ KN}$$

$$Br = \sqrt{2661.47} = 51.58 + 5 \text{ cm} = 56.58 \text{ cm}$$

On prend un poteau de section (60x60) cm

## CHAPITRE II : Pré dimensionnement des éléments de la structure

### Vérification au flambement :

Il s'agit de vérifier que l'élançement du poteau soit inférieur ou égal à 35 :

$$\lambda = \frac{L_f}{i_{min}}, \quad i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}, \quad L_f = 0.7L_0, \quad I_{min} = \frac{bh^3}{12}$$

$\lambda$  : L'élançement du poteau

$L_f$  : Longueur de flambement

$i_{min}$  : Rayon de giration

$I_{min}$  : Moment d'inertie de la section

$L_0$  : Longueur libre du poteau compté entre faces supérieures

$$\lambda = \frac{L_f}{i_{min}} \leq 35$$

$$L_f = 0.7L_0 = 0.7 \times 3.37 = 2.36 \text{ m}$$

$$i_{min} = \frac{h}{\sqrt{12}} \quad \text{donc} \quad \lambda = \frac{L_f}{h} \sqrt{12} = 13.62 \leq 35 \text{ cv}$$

Condition du RPA99 version 2003 :

Min (b,h)  $\geq 25\text{cm}$  ; Min (b,h)  $\geq \frac{h}{20}$  ;  $\frac{1}{4} \leq \frac{b}{h} \leq 4$  après calcul toutes les conditions sont vérifiées.

### II.5. Pré dimensionnement des voiles :

Le pré dimensionnement des murs en béton armé justifiés par l'article 7.7.1 du RPA99 servent à contreventer le bâtiment en reprenant les efforts horizontaux (séisme ou vent).

D'après le RPA 99 article 7.7.1 « les éléments satisfaisants la condition ( $L \geq 4e$ ) sont considérés comme des voiles, contrairement aux éléments linéaires. » avec :

$L$  : portée du voile.

$e$  : épaisseur du voile.

L'article 7.7.1 RPA99 « l'épaisseur minimale est de 15 cm », de plus l'épaisseur doit être déterminé en fonction de la hauteur libre d'étage  $h_e$  et des conditions de rigidité aux extrémités.

A partir de la hauteur libre d'étage  $h_e = 2.86$  et des conditions de rigidité aux extrémités, on a

$$e \geq \max (e_{min} ; h_e/25, h_e/22; h_e/20)$$

d'où:

$$e \geq \max (15 ; 11.44, 13; 14.3)$$

On adopte des voiles de 15 cm

$h_e$  = hauteur d'étage. (Rez-de-chaussée)

$$h_e = 380\text{cm (hauteur libre d'où } e \geq 380/22 = 17.27 \text{ cm)}$$

On adopte des voiles de 20 cm pour le rez-de-chaussée

## CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS NON STRUCTURAUX

### I.1. Etude du balcon :

Le balcon est calculé comme une console sollicitée par les efforts G, P et  $W_p$ .

G : charge permanente du balcon.

P : surcharge d'exploitation.

$W_p$  : charge du mur rideau (1ml).

#### III .2. A. Descente de charge :

- Carrelage(2cm) :  $22 \times 0.02 = 0.44 \text{ KN/m}^2$ .
- Mortier de pose (2cm) :  $20 \times 0.02 = 0.4 \text{ KN/m}^2$ .
- Enduit de ciment(1.5cm) :  $22 \times 0.015 = 0.33 \text{ KN/m}^2$ .
- Poids propre de la dalle pleine(12cm) :  $25 \times 0.12 = 3 \text{ KN/m}^2$ .
  - La charge permanente :  $G = 4.17 \text{ KN/m}^2$ .
  - La charge d'exploitation:  $P = 3.5 \text{ KN/m}^2$ .

$$W_p = 0.0894 \text{ KN}.$$

#### III .1. B. Calcul des sollicitations :

ELU :

$$Q_u = 1.35G + 1.5P = 10.88 \text{ KN/m}.$$

$$W_u = 1.35W = 0.12 \text{ KN}$$

ELS :

$$Q_{ser} = G + P = 7.67 \text{ KN/m}$$

$$W_{ser} = W = 0.0894 \text{ KN}.$$

#### Calcul du centre de balancement:

Il faudra que le poids du centre de balancement soit égal à celui de la console.

$$G_{balcon} = 0.12 \times 25(1.35 \times 4.17) = 18.63 \text{ KN}$$

$$G_{contre pids} = (25 \times 0.25 \times 4.17)X = 26.06X \text{ KN}$$

$$X = 0.71 \text{ m}$$

#### III .1.C. Ferrailage :

Notre calcul sera pour une section rectangulaire de dimensions (100x20)  $\text{cm}^2$ .

### CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS NON STRUCTURAUX

ELU :

$$M_u = 10.88 \times 1.35^2 / 2 + 0.0894 \times 1.35$$

$$M_u = 11.89 \text{ KN.m}$$

$$\mu = \frac{M_u}{bd^2\sigma_{bc}} = \frac{1189}{100 \times 10^2 \times 14.2} = 0.008 < 0.18$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0.05$$

$$\beta = 1 - 0.4\alpha = 0.98$$

$$A_u = \frac{M_u}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = 3.5 \text{ cm}^2 \quad 5T12 = 3.92 \text{ cm}^2$$

Avec un espacement de 20 cm.

ELS :

$$M_{ser} = 9.96 \text{ KN.m}$$

$$syy' = 0 \rightarrow \frac{bh_0}{2} - 15A(d - y_1) = 0$$

$$50y_1^2 + 58.8y_1 - 635.04 = 0$$

$$Y_1 = 3.02 \text{ cm}$$

$$I_{yy'} = \frac{by^3}{12} + 15A(d - y_1)^2$$

$$I_{yy'} = 4477.19 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I_{yy'}} = 2.19$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = K \cdot y_1 = 6.62 \text{ Mpa} < \sigma_{bc} = 15 \text{ Mpa} \quad \text{condition vérifiée}$$

Donc les armatures calculer à ELU conviennent

**Armatures de répartition :**

$$A_r = \frac{3.92}{4} = 0.98 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 5T8 = 2.51 \text{ cm}^2$$

Avec un espacement de 20 cm.

**Vérification de la flèche :**

$$T_{max} = 13.85 \text{ KN}$$

## CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS NON STRUCTURAUX

$$\tau = \frac{T}{bd} = 0.012Mpa$$

$$\bar{\tau} = \min\left(0.07 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 4Mpa\right)$$

$$\bar{\tau} = (1.16; 4) = 1.16Mpa$$

$$\tau < \bar{\tau}$$

Donc ça vérifie

### Vérification de la flèche :

Nous avons deux types de flèches : charge concentrée et charge répartie.

$$F = f_1 + f_2 = q_{ser} \times \frac{L^4}{8EI} + W_{ser} \times \frac{L^3}{3EI}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + 15 \times A \times \left(d - \frac{h}{2}\right) = 15754.75cm^4$$

$$f_1 = 0.0628mm$$

$$f_2 = 0.0339mm$$

$$F = f_1 + f_2 = 0.0967mm$$

### Calcul de la flèche admissible :

$$f_{adm} = 2.7mm > f = 0.967mm$$

**condition vérifiée**

### III .2. Etude de l'acrotère :

L'acrotère est un élément secondaire de la structure il est assimilé à une console verticale encastrée à sa base au niveau du plancher terrasse, il est soumis à un effort normal du à son poids propre ( $W_p$ ) et un moment du à une force statique équivalente horizontale ( $F_p$ ). Donnée par le règlement parasismique algérien. Le calcul se fait sur une bande de 1 m de longueur et l'acrotère est étudié en flexion composée.

## CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS NON STRUCTURAUX

### III .2.A. Calcul des sollicitations :

Calcul des actions  $W_p$  et  $F_p$  :

$$F_p = 4 \times A \times C_p \times W_p$$

D'après le RPA 99 version 2003.

A : coefficient d'accélération de la zone 2A, groupe d'usage  
2 → A = 0.15

$C_p$  : facteur de force horizontale pour les éléments secondaires.  $C_p = 0.8$

Le poids propre de l'élément est déterminé comme suit :

$$W_p = \gamma_b \cdot S$$

$$S = (0.6 \times 0.1) + (0.07 \times 0.1) + \left(0.03 \times 0.1 \times \frac{1}{2}\right) = 0.0685 m^2$$

$$W_p = 25 \times 1 \times 0.0685 = 1.71 KN$$

$$F_p = 0.83 KN$$

Les sollicitations à l'encastrement :

ELU :

$$M_u = 1.5 F_p \times L = 1.5 \times 0.83 \times 0.6 = 0.74 KN.m$$

$$N_u = 1.35 W_p = 2.31 KN$$

ELS :

$$M_{ser} = F_p \times L = 0.50 KN$$

$$N_{ser} = W_p = 1.71 KN$$

III .2. B. Calcul du ferrailage :

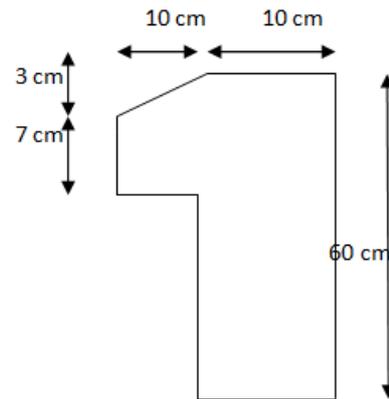
ELU :

Calcul de l'excentricité :  $e_u$

$$e_u = \frac{M_u}{N_u} = 0.32 m$$

$$e_u = 32 cm > \frac{h}{12} = \frac{10}{12} = 0.83 cm$$

$$\frac{h}{2} - C = 1 cm \rightarrow C = 4 cm$$



### CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS NON STRUCTURAUX

$e_u > \frac{h}{2} - C \rightarrow N_u$  est un effort de compression appliqué à l'extérieur du segment limité par les armatures.

→ Section partiellement comprimée.

→ Calcul à la flexion simple.

$$Ma = Mu + Nu \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - c \right] = 1.003 \text{KN.m}$$

$$\mu = \frac{Ma}{bd^2\sigma_{bc}} = \frac{1003}{600 \times 70^2 \times 14.2} = 0.024 < 0.18$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0.03$$

$$\beta = 1 - 0.4\alpha = 0.98$$

$$Au = \frac{Ma}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = 0.42 \text{cm}^2$$

ELS:

Cas d'une fissuration préjudiciable.

Calcul de l'excentricité :  $e_{ser}$

$$e_{ser} = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = \frac{0.50}{1.71} = 0.28 \text{m}$$

$$e_{ser} > \frac{h}{12} = \frac{10}{12} = 0.83 \text{cm}$$

→  $N_u$  est un effort de compression appliqué à l'extérieur du segment limité par les armatures.

→ Section partiellement comprimée.

→ Calcul à la flexion simple.

$$Ma = M_{ser} + N_{ser} \times \left( \frac{h}{2} - C \right)$$

$$Ma = 0.50 + 1.71 \times 0.01 = 0.52 \text{KN.m}$$

$$\text{Avec : } \sigma_s = \min \left[ \frac{2}{3} f_e; 110 \sqrt{\mu f_{tj}} \right] \text{Mpa}$$

$$\mu = 1.6(\text{H.A})$$

$$f_{tj} = 2.1 \text{Mpa}$$

$$\sigma_s = 201.6$$

$$\mu = \frac{Ma}{bd^2\sigma_{bc}} = \frac{52000}{600 \times 70^2 \times 14.2} = 0.001$$

## CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS NON STRUCTURAUX

$$K_1 = 66.97$$

$$B_1 = 0.939$$

**Vérification du béton :**

$$\sigma_{bc} = \frac{\sigma_s}{K_1} = 3.01 \text{Mpa} < \overline{\sigma_{bc}} = 0.6 f_{c28} = 15 \text{Mpa}$$

$$A = \frac{M_a}{B_1 \cdot d \cdot \sigma_s} = 0.49 \text{cm}^2$$

$$A_{ser} = A - \frac{N_{ser}}{\sigma_s} = 0.40 \text{cm}^2$$

**Condition de non fragilité selon BAEL 91 :**

$$A_{min} = 0.23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{tj}}{f_e} = 0.51 \text{cm}^2$$

$$A_{finale} = \max(A_u; A_{ser}; A_{min})$$

$$A_{finale} = 0.51 \text{cm}^2$$

Nous adaptons : 5HA10=3.93cm<sup>2</sup>.

**Armatures de répartition :**

$$A_r = \frac{3.93}{4} = 0.98 \text{cm}^2$$

$$\rightarrow 4T8=2.02 \text{cm}^2$$

**Vérification de l'effort tranchant :**

$$V_{u \max} = 1.5 \times F_p = 1.63 \text{KN}$$

$$\tau_u = \frac{V_{u \max}}{b_0 d} = 0.003 \text{Mpa}$$

$$\bar{\tau} = \min\left(0.15 \frac{f_{cj}}{\gamma_b}; 5 \text{Mpa}\right)$$

$$\bar{\tau} = (2.5; 5) = 2.5 \text{Mpa}$$

$$\tau < \bar{\tau}$$

Donc ça vérifie

## CHAPITRE IV : Les planchers.

### IV.1. Introduction

Un plancher est une aire généralement plane et horizontale, qui délimite les étages. Il supporte son poids propre et les surcharges et il assure la fonction d'isolation acoustique et thermique. Mais, sous charges horizontales, le rôle essentiel du plancher, supposé infiniment rigide dans le plan horizontal, est de transmettre les efforts aux éléments porteurs.

Les planchers peuvent être préfabriqués ou coulés sur place. Nous ne nous intéresserons ici qu'aux planchers coulés sur place.

### IV.2. Calcul des poutrelles.

Les poutrelles sont des éléments préfabriqués en béton armé, disposées parallèlement les unes par rapport aux autres, dans le sens de la petite portée et distancées par la largeur d'un corps creux (60cm). Le rôle des poutrelles dans le plancher est d'assurer la transmission des charges verticales directement appliquées sur ce dernier aux poutres principales.

Trois types de poutres continues sont à envisager :

- 2 travées
- 3 travées
- 4 travées.

IV.2.A. Combinaisons d'actions :

Niveau	$1,35G+1,5Q$ [kN/ml]	$G+Q$ [kN/ml]
Terrasse	6.06	4.42
Niveau courant	5.88	4.26

Les actions à prendre pour le calcul sont les plus défavorables.

On va prévoir un seul type de poutrelles

Donc, la poutrelle sera sollicitée par une charge uniformément répartie :

$P_u = 6.06$  KN/ml.

$P_s = 4.42$  KN/ml.

#### Sollicitations de calcul :

Après avoir évalué les sollicitations de calcul on va utiliser le logiciel de calcul de poutres continues RDM 6. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

On a calculé la poutrelle la plus défavorable et on a uniformisé le ferrailage sur tous les types.

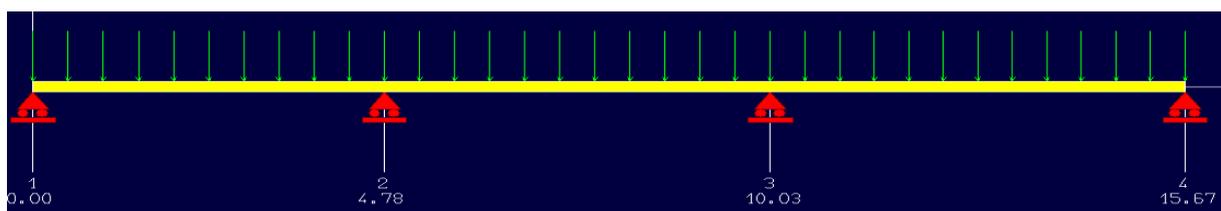


Figure 5 : poutrelle

## CHAPITRE IV : Les planchers.

Sollicitations	Valeur max	Diagrammes
Moment D'appui [kN.m]	-18.56	
Moment En travée [kN.m]	15.02	
Effort Tranchant D'appui [kN]	19.87	

**Tableau 1 Sollicitations de la poutrelle.**

IV.2.B. Calcul du ferrailage :

### Armatures longitudinales :

Puisque les poutrelles ne sont pas exposées aux intempéries, le calcul se fera à l'ELU seulement. (La fissuration est considérée comme peu préjudiciable).

Les résultats sont donnés par le tableau suivant :

Position	M <sub>ELU</sub>	A <sub>s</sub> cm <sup>2</sup>	Armatures Sup.	Armatures Inf
Appui	-18.56	1.43	2T10	0
Travée	15.02	2.73	0	2T12+1T10

**Tableau 2 Armatures longitudinales.**

### Armatures transversales :

En adoptant une section d'armature transversale égale à 2Φ6 avec une inclinaison de 90° et un espacement S<sub>t</sub> déterminé par la formule suivante :

$$S_t = \frac{0.9 \times A_{st} \times F_{su}}{(\tau_b - \tau_0) \times 0.04}$$

Avec :  $\tau_b = \frac{V_u}{b_0 \cdot d}$

$$\tau_b = \frac{19.87 \times 10^{-3}}{0.04 \times 0.216}$$

$$\tau_b = 2.19 \text{ MPa}$$

$$\tau_0 = 0.3 \times F_{tj} \times K$$

$$\tau_0 = 0.3 \times 2.1 \times 1 = 0.63 \text{ MPa}$$

## CHAPITRE IV : Les planchers.

$$S_t = \frac{0.9 \times 0.57 \times 348 \times 10^{-4}}{(2.19 - 0.63) \times 0.04} = 0.20 \text{m}$$

On prend un espacement de 15 cm.

### Vérification au cisaillement.

La vérification de la contrainte de cisaillement du béton dans l'âme des poutrelles, pour une fissuration peu préjudiciable, est réalisée par :

$$\tau_b \leq \bar{\tau}_b = \min \left\{ \frac{0.2 \times f_{c28}}{\gamma_b}; 5 \text{MPa} \right\} = 3.33 \text{MPa}$$

$$\tau_b = 2.19 \leq \bar{\tau}_b = 3.33 \text{MPa} \text{ Condition vérifiée.}$$

### Vérification de la condition de non fragilité :

D'après le BAEL (Art.A.U.2 de BAEL91)

$$\rho \geq 0.23 \times \frac{f_{tj}}{f_e}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$A_s \geq \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} = 0.31 \text{cm}^2$$

On a :

$A_s < 2.26 = 2\text{T}12$  ; en travée (vérifier)

$A_s < 1.57 \text{cm}^2 = 2\text{T}10$  ; en appui (vérifier)

## CHAPITRE V : Les escaliers

### VI .1. Etude des escaliers :

Dimensionnement :

$$H_{\text{volée}}=1.12 \text{ m}$$

$$n = \frac{H}{h} = \frac{1.12}{0.16} = 7$$

Donc on a 7 contre marches par volée.

$$g = \frac{l}{n-1} = \frac{1.9}{6} = 31 \text{ cm}$$

$$L_p \geq 4g \rightarrow L_p \geq 4 \times 31.6 \rightarrow L_p \geq 126 \text{ cm} \text{ condition vérifiée}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{H}{L} = \frac{1.12}{1.9} = 0.58$$

$$\alpha = 30.5^\circ$$

Epaisseur de la paillasse :

$$e = lp \cdot \left( \frac{1}{20}, \frac{1}{30} \right)$$

$$e = (9.95 ; 6.33) \text{ cm}$$

On prend  $e = 12 \text{ cm}$ .

Epaisseur du palier :

$$\frac{l}{20} \leq e \leq \frac{l}{15}$$

$$6.3 \leq e \leq 12.6$$

On prend l'épaisseur de la palier 12 cm.

### VI .1. A. Evaluation Des Charges Et Surcharges :

#### Paillasse

#### Charges permanentes G

- Poids propre de la paillasse ( $e=12\text{cm}$ ) :  $\frac{25 \times 0.12}{\cos \alpha} = 4.13 \text{ KN/ml}$
- Poids de marche ( $h=16\text{cm}$ ) :  $\frac{25 \times 0.16}{2} \times 1.2 = 2.4 \text{ KN/ml}$

## CHAPITRE V : Les escaliers

- Poids propre du mortier (2cm) :  $20 \times 0.02 \times 1.2 = 0.48KN/ml$
- Carrelage (2cm) :  $22 \times 0.02 \times 1.2 = 0.52KN/ml$
- Enduits (2cm) :  $\frac{18 \times 0.02}{\cos \alpha} \times 1.2 = 0.49KN/ml$
- garde-corps (métal léger) : 0.1KN/ml

$$G = 7,986KN/ml$$

$$P=2.5 KN/ml$$

### Palier

#### Charges permanentes G

- Poids propre (e=12cm):  $25 \times 0.12 \times 1.2 = 3.6KN/ml$
- Mortier de pose :  $20 \times 0.02 \times 1.2 = 0.48KN/ml$
- Carrelage (2cm) :  $22 \times 0.02 \times 1.2 = 0.52KN/ml$
- Enduits (2cm) :  $\frac{18 \times 0.02}{\cos \alpha} \times 1.2 = 0.49KN/ml$

$$G=4.74KN/ml$$

$$P=2.5 KN/ml$$

#### VI .1. B Calcul des sollicitations:

a) ELU:

$$Q_v=1.35G_v+1.5P=14523N/m^2$$

$$Q_p=1.35G_p+1.5P=10149N/m^2$$

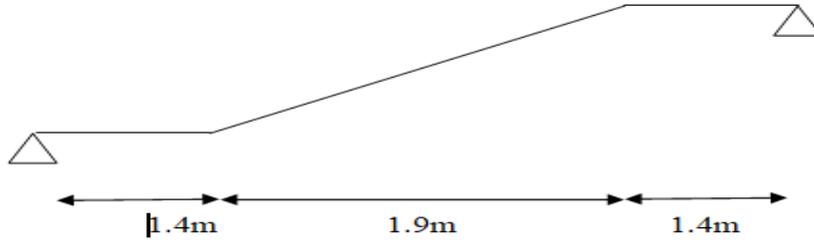
b) ELS :

$$Q_v=G_v+P=10480N/m^2$$

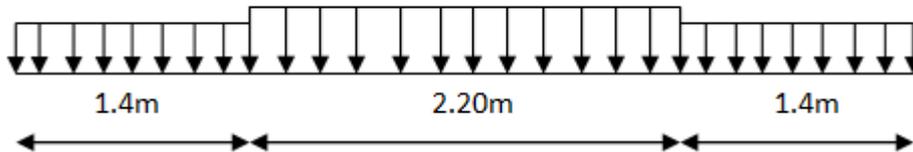
$$Q_p=G_p+P=7240N/m^2$$

## CHAPITRE V : Les escaliers

Le schema statique:



$$\text{On a: } \frac{1.9}{\cos\alpha} = 2.20m$$



ELU:

$$R_a + R_b = Qv \times 2.20 + Qp \times 1.4$$

$$R_a + R_b = 31950.6 + 14208.6 = 46159.2N$$

$$\sum M_a = 0 \rightarrow R_b \times 3.46 - Qv \frac{2.2^2}{2} - Qp 1.4 \left( 2.2 + \frac{1.4}{2} \right) = 0$$

$$3.46R_b - 2.42Qv - 4.06Qp = 0$$

$$3.46R_b - 35145.66 - 57686.91 = 0$$

$$R_b = 26830.22N$$

$$R_a = 19328.98N$$

$$0 \leq x \leq 2.2$$

$$M_x = 19328.98x - 14523 \times \frac{x^2}{2}$$

$$\frac{dM_x}{dx} = 19328.98 - 14523x = 0$$

$$x = \frac{19328.98}{14523} = 1.33m$$

$$M_t = 20000.6N.m$$

## CHAPITRE V : Les escaliers

$$M_{app} = 12682.68N.m$$

### VI .1. C. Le ferrailage :

La paillasse :

$$\mu = \frac{Mt}{bd^2\sigma_{bc}} = \frac{20000.6N.m}{100 \times 10^2 \times 14.2} = 0.014 < 0.18$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0.106$$

$$\beta = 1 - 0.4\alpha = 0.957$$

$$A_u = \frac{Mt}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = 5.06cm^2$$

$$A_{min} = \frac{0.23f_{tj} \cdot b \cdot d}{f_e} = 1.95cm^2$$

$$A_u = 6T12 = 6.78cm^2$$

Avec un espacement de 15 cm

Le palier :

$$\mu = \frac{Ma}{bd^2\sigma_{bc}} = \frac{12682.68N.m}{100 \times 10^2 \times 14.2} = 0.049 < 0.18$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0.07$$

$$\beta = 1 - 0.4\alpha = 0.97$$

$$A_u = \frac{Mt}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = 3.01cm^2 \quad 6T12 = 6.78cm^2$$

Avec un espacement de 15 cm

ELS :

$$R_b = 20593.6N$$

$$R_a = 14178.2N$$

$$M_t = 16274.3N.m$$

$$M_{app} = 10318.9N.m$$

### Vérification des contraintes :

La paillasse :

$$s_{yy}' = 0 \rightarrow \frac{by_1^2}{2} - 15A(d - y_1) = 0$$

$$50y_1^2 + 101.7y_1 - 1647.5 = 0$$

## CHAPITRE V : Les escaliers

$$\sqrt{\Delta} = 582.96$$

$$Y_1 = 4.81 \text{ cm}$$

$$I_{yy'} = \frac{by^3}{12} + 15A(d - y_1)^2$$

$$I_{yy'} = 16903.25 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I_{yy'}} = 1.29$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = K \cdot y_1 = 6.28 \text{ Mpa} < \sigma_{bc} = 15 \text{ Mpa} \quad \text{condition vérifiée}$$

Le palier :

$$s_{yy'} = 0 \rightarrow \frac{by_1^2}{2} - 15A(d - y_1) = 0$$

$$50y_1^2 + 67.8y_1 - 915.3 = 0$$

$$\sqrt{\Delta} = 433.19$$

$$Y_1 = 3.65 \text{ cm}$$

$$I_{yy'} = \frac{by^3}{12} + 15A(d - y_1)^2$$

$$I_{yy'} = 8199.02 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I_{yy'}} = 1.25$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = K \cdot y_1 = 4.56 \text{ Mpa} < \sigma_{bc} = 15 \text{ Mpa} \quad \text{condition vérifiée}$$

Donc les armatures calculé à ELU conviennent

**Vérification à l'effort tranchant :**

$$T_{max} = Rb = 26830.22 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{T}{bd} = \frac{26830.22}{1000 \times 100} = 0.26$$

$$\bar{\tau} = \min\left(0.07 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ Mpa}\right)$$

$$\bar{\tau} = (1.16; 4) = 1.16 \text{ Mpa}$$

$$\tau < \bar{\tau}$$

Donc ça vérifie

## CHAPITRE V : Les escaliers

**Les armatures de répartition :**

$$Ar = \frac{6.78}{4} = 1.69 \text{ cm}^2$$

$$Ar = 5T10 = 3.14 \text{ cm}^2$$

Avec un espacement de 20 cm

# CHAPITRE VI : étude dynamique

## V.1.Introduction

Malgré les progrès effectués par le génie parasismique depuis plusieurs décennies, le nombre des victimes des tremblements de terre ne cesse de croître dans le monde.

De ce constat accablant, pour les ingénieurs de génie civil l'étude du comportement des constructions sous l'action dynamique est devenue plus que nécessaire.

Le calcul sismique dans notre étude sera effectué dans le cadre du règlement parasismique algérien (**RPA99 v 2003**).

Notre bâtiment est implanté dans une zone de moyenne sismicité (zone IIa), donc l'étude sismique est nécessaire pour éviter les dommages.

## V.2. Choix de la méthode de calcul :

Le calcul des forces sismiques est basé sur les trois méthodes suivantes :

- La méthode statique équivalente.
- La méthode d'analyse modale spectrale.
- La méthode d'analyse dynamique par accélogrammes.

## V.3. Présentation de la méthode modale spectrale :

La méthode modale spectrale est, sans doute, la méthode la plus fréquemment utilisée pour l'analyse sismique des structure ; elle est caractérisée par :

- la définition du mouvement sismique imposé aux supports sous la forme d'un spectre de réponse de calcul ;
- l'hypothèse d'un comportement globalement linéaire de la structure, permettant l'utilisation des modes propres.

La bonne pratique de la méthode spectrale suppose :

- l'établissement d'une bonne modélisation,
- le choix judicieux des modes à retenir,
- la connaissance des limites de validité des règles de combinaisons des modes et des composantes ; la règle quadratique ne doit pas être considéré comme ayant une valeur universelle.

## Nombre de modes à considérer :

Le nombre de modes de vibration à considérer doit être tel que [RPA] :

- La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit au moins égale à 90% de la masse totale de la structure ;
- Ou que tous les modes retenus ont une masse modale effective supérieure à 5% de la masse totale ;
- Le minimum de modes à retenir est de 3 ;

Dans le cas où les conditions citées ci-dessus ne sont pas observées, le nombre minimal de modes (K) à considérer est donné par l'inégalité suivante [RPA] :

$$K \geq 3\sqrt{N} \text{ Et } K \leq 0.20sec$$

Avec : N est le nombre de niveaux au dessus de sol et  $T_k$  la période du mode K Selon la formule  $K \geq 9$ . On va prendre  $N = 10$  modes en premier lieu, et on vérifie les conditions ci-dessus.

## CHAPITRE VI : étude dynamique

### V.4. Modélisation de la structure :

Vu la complexité de la structure de l'ouvrage, l'utilisation de l'outil informatique et des logiciels de calcul des structures s'impose.

L'étude dynamique est basée sur les résultats d'une modélisation en trois dimensions à l'aide du logiciel SAP2000.

#### V.4.A. Etapes de modélisation :

- 1-Les poteaux, poutres et poutrelles sont modélisés par un élément de type FRAME ;
- 2-Les voiles et dalles sont créés par un élément de type SHELL ; les voiles sont disposés de telle sorte à renforcer les vides au niveau des planchers (cage d'escalier) et les zones flexibles. Leurs disposition va être modifiée suivant la conformité du comportement de la structure aux recommandations du RPA99 version 2003 ;
- 3-Définition des matériaux ;
- 4-Définition des sections ;
- 5-Définition des charges (G, Q), et les appliquer aux éléments porteurs ;
- 6-Introduction du spectre de réponse à appliquer ;
- 7-Définition des combinaisons de charges.

**1.35G + 1.5Q →ELU**

**G + Q + E<sub>x</sub>**

**G + Q + E<sub>y</sub>**

**G + Q + 1,2 E<sub>x</sub>**

**G + Q + 1,2E<sub>y</sub>**

**G + Q →ELS**

**0.8G + E<sub>x</sub>**

**0.8G+ E<sub>y</sub>**

- 8- Affecter à chaque élément les sections déjà prédéfinies ;
- 9- Définir les conditions aux limites : pour les fondations en choisissant un type d'appui : encastrement à la base
- 10-Spécifier un diaphragme à chaque plancher : La théorie des planchers rigides est mise en évidence par une déclaration de diaphragmes rigides.
- 11-Choix du code du règlement : on a choisi le règlement « **EUROCODE 2-2004** » qui est disponible sur le logiciel ;
- 12- lancement de l'analyse ;
- 13- Ouvrir le fichier résultat dont l'extension est **.OUT** afin de vérifier les déplacements, la période de la structure, le taux de participation de la masse pour voir si le nombre de modes choisis est suffisant ;
- 14- Visualisation des efforts trouvés (**M, N, T**) et du taux de travail des sections.

# CHAPITRE VI : étude dynamique

## V.4.B. Spectre de réponse :

D'après le règlement << RPA 99 version 2003 >> :

Il est obtenu en introduisant les données suivantes :

Coefficient d'accélération de zone A = 0.15

La catégorie de Site : S2.

T1 et T2 : T1 = 0.15 s ; T2 = 0,40 s (Site S2)

Pourcentage d'amortissement critique de la structure  $\xi = 7 \%$ .

Coefficient de comportement global de la structure : R = 4.0 (Catégorie A- 4b).

Facteur de qualité Q = 1,15

Coefficient de pondération des surcharges  $\beta$  : nous retenons pour  $\beta$  la valeur 0.2 (RPA 99 – Tableau 4.5).

L'allure du spectre de réponse est représentée dans la figure :

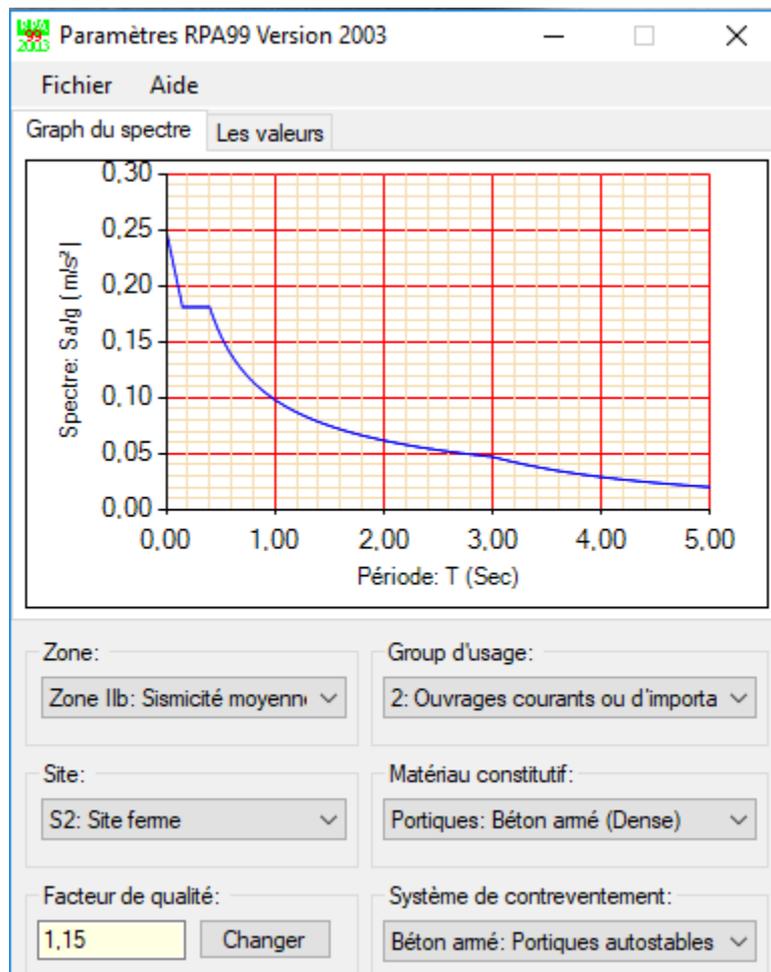


Figure 6 Spectre de réponse

## CHAPITRE VI : étude dynamique

### V.4.C. Disposition des voiles :

Le système structural choisi est un portique contreventé par voiles porteurs en béton armé, le choix de ce système structural est dû à l'existence de vides (cage d'escalier et ascenseur). On doit donc vérifier les conditions données par le RPA version 2003, à savoir :

- Les voiles doivent reprendre au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales.
- Les charges horizontales sont reprises uniquement par les voiles.

Ces constatations nous ont menés à revoir le système de contreventement de la structure, et surtout la disposition et changement de certaines voiles.

Après plusieurs simulations, nous avons opté pour une variante pour laquelle nous avons obtenu des résultats satisfaisants.

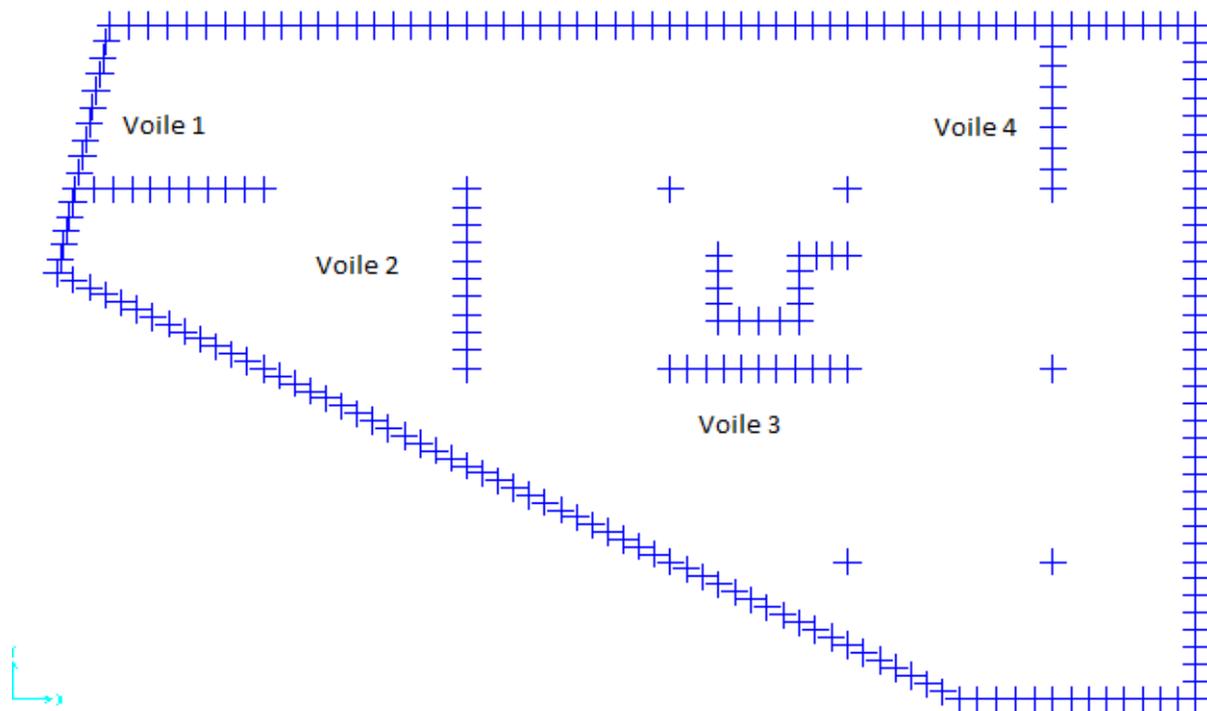


Figure 7 Disposition des voiles

V.4.D. Vérification de la période :

$$T_{estimée} = \min \begin{cases} C_t \cdot h_n^{3/4} \\ 0.09 \cdot h_n / \sqrt{D_x} \\ 0.09 \cdot h_n / \sqrt{D_y} \end{cases}$$

$$^{222}\text{Donc : } T_{estimée} = \min \begin{cases} 0.64s \\ 0.48s \\ 0.61s \end{cases}$$

## CHAPITRE VI : étude dynamique

$T_{\text{estimée}} = 0.48\text{s}$

La valeur de la période numérique (donnée par SAP2000) doit vérifier la condition de [l'article 4.2.4.4] du RPA/2003.

Le règlement exige que la période numérique ne doit pas dépasser la valeur calculée par la formule empirique appropriée de plus de **30%**

Avec :  $T_{\text{estimée}} = 0.48\text{sec} < 1.3 \times 0.48$

$T_{\text{numérique}} = 0.52 \text{ sec} < 0.62 \text{ sec. (La condition est donc vérifiée).}$

### Détermination de la force sismique par la méthode statique équivalente :

La force sismique totale (V) appliquée à la base de la structure est donnée selon le RPA99/2003 par la formule suivante :

W : Poids total de la structure

W est égal à la somme des poids  $W_i$ , calculés à chaque niveau (i) :

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{avec} \quad W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

- $W_{Gi}$  : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure
- $W_{Qi}$  : charges d'exploitation
- $\beta$  : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau.

**Tableau : valeurs du coefficient de pondération  $\beta$**

Cas	Type d'ouvrage	$\beta$
1	Bâtiments d'habitation, bureaux ou assimilés	0,20
2	Bâtiments recevant du public temporairement : - Salles d'exposition, de sport, lieux de culte, salles de réunions avec places debout. - salles de classes, restaurants, dortoirs, salles de réunions avec places assises	0,30 0,40
3	Entrepôts, hangars	0,50
4	Archives, bibliothèques, réservoirs et ouvrages assimilés	1,00
5	Autres locaux non visés ci-dessus	0,60

$G_{\text{terrasse}} 7.12\text{KN/m}^2$ ,  $Q_{\text{terrasse}} 1 \text{ KN/m}^2$

$G_{\text{étage}} 5.88 \text{ KN/m}^2$ ,  $Q_{\text{étage}} 2.5 \text{ KN/m}^2$

$W = 53046.696 \text{ KN}$

### Résultante des forces sismiques de calcul :

D'après le RPA 99 V2003 (article 4.3.6, p54), la résultante des forces sismiques à la

## CHAPITRE V : ETUDE DYNAMIQUE.

base  $V_{\text{dynamique}}$  obtenue par la combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de  $V_{\text{statique}}$  (la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente) pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée.

Si  $V_{\text{dynamique}} < 80\% V_{\text{statique}}$ , il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments,...) dans le rapport  $0,8 V_{\text{statique}} / V_{\text{dynamique}}$ .

V (KN)	V <sub>statique</sub> (KN)		V <sub>dynamique</sub> (KN)	
	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>
L'effort tranchant à la base	4117.74	4117.74	4291.25	4765.4

D'après les résultats précédents on remarque que la condition :

«  $V_{\text{dynamique}} > 80\% V_{\text{statique}}$  » est vérifiée.

### V.5. Conclusion :

L'étude dynamique effectuée par le logiciel SAP 2000/V11 a montré que :

- Les modes de translation avaient une prépondérance pour le sens X ; et il fallait considérer 11 modes de vibration, pour réaliser 90 % de participation de la masse, suivant le sens Y.
- La structure vérifie les exigences imposées par le règlement, mais cela ne veut pas dire qu'on a la sécurité absolue envers le séisme, puisque la structure est dimensionnée à un risque normal ; et que les propriétés locales du sol, la géométrie de la fondation, la profondeur de l'encastrement, la stratification du sol, ainsi que la distance séparant deux structures adjacentes jouent un rôle déterminant dans le comportement vibratoire du bâtiment.

Actuellement, et malgré les importants progrès réalisés ces dernières années, les approches existantes dans la littérature pour prendre en charge simultanément cet ensemble de facteurs, fortement compliqué au plan individuel déjà, sont encore loin d'expliquer les observations in situ par leurs insuffisances numériques et leurs hypothèses simplificatrices.

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

### VI.1. Introduction :

Connaissant les sollicitations aux quelles sont soumises les différents éléments structuraux de notre ouvrage, Il devient possible de procéder à leurs ferrailage. Il s'effectuera selon le règlement BAEL.91, les règles C.B.A.93 « Règles de conception et de calcul des structures en béton armé » et les règles parasismiques en vigueur en Algérie (RPA 99/ 2003).

Les objectifs du ferrailage sont la détermination des sections d'aciers nécessaires pour assurer les critères relatifs à la résistance, la ductilité, et la stabilité des éléments constructifs de notre ouvrage. Il concerne les poteaux, poutres, et les voiles.

Afin d'assurer une sécurité à un risque normal, les règles adoptent des combinaisons d'actions qui varient dans le sens le plus défavorable, et dont les actions atteignent des intensités qui génèrent des efforts les plus sollicitant pour la structure. Les objectifs visent à assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis à vis de l'effet des actions sismiques

### VI.2. Ferrailage des poteaux :

Un poteau est soumis à un effort normal « N » et à un moment de flexion « M » dans les deux sens soit dans le sens longitudinal et le sens transversal. Donc les poteaux sont sollicités en flexion composée.

#### VI.2.A. Combinaisons des charges.

- Selon BAEL 91.E.L.U : Situation durable.

$$1,35 G + 1,5 Q$$

- Selon BAEL 91.E.L.S :

$$G + Q$$

- Selon le R.P.A 99 : Situation accidentelle.

$$G + Q \pm 1.2E \quad \text{RPA 99 ( Contrainte dans le béton) (E.L.U. situation accidentelle)}$$

Chacune des deux combinaisons donne une section d'acier.

La section finale choisie correspondra au maximum des deux valeurs (cas plus défavorable).

#### Vérification de l'effort tranchant à la base causé par le séisme :

$$V = \frac{N_d}{B_c \times F_{c28}} \leq 0.3$$

$N_d$  : l'effort normal de calcul qui s'exerce sur une section du béton

$B_c$  : l'air (section brute)

$F_{c28}$  : la résistance caractéristique du béton à 28 jours

Poteaux	$N_d(N)$	$B_c(mm^2)$	$F_{c28}(MPa)$	V	Observations
SS	1404542	600x600	25	0.15	CV

Et c'est vérifié pour toutes les autres sections de poteaux.

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

### Armatures longitudinales

- Leur pourcentage minimal est de :

$$A_{min} = A_s > 0.8\% b.h \text{ (zone II) ;}$$

- Leur pourcentage maximal est de :

$$A_{max} = \frac{A_s}{b.h} < 4\% \text{ en zone courante.}$$

$$A_{max} = \frac{A_s}{b.h} < 6\% \text{ en zone recouvrement.}$$

Le diamètre minimum est de 12 mm .

La longueur minimale des recouvrements est de  $40 \phi_l$  .

La distance entre les barres verticales dans une face ne doit pas dépasser 25 cm .

Les jonctions par recouvrement doivent être faites si possible, à l'extérieur des zones nodales (zone critiques).

### Armatures transversales :

Les armatures transversales sont calculées à l'aide de la formule suivante RPA99 :

$$\frac{A_t}{St} = \frac{\rho_a \cdot V_U}{h \cdot f_e}$$

Avec :

$V_U$  : effort tranchant.

$f_e$  : contrainte limite élastique de l'acier d'armature transversale.

$St$  : espacement des armatures transversales.

$\rho_a$  : coefficient correcteur qui tient compte du mode fragile de la rupture par effort tranchant.

$\rho_a = 2,5$  si l'élancement géométrique (lg) dans la direction considérée est supérieur ou égal à 5.

$\rho_a = 3,75$  dans le cas contraire.

$h$  : hauteur totale de la section brute.

### .Les résultats des sollicitations donnés par SAP2000.

Les résultats des efforts internes et le ferrailage des poteaux pour toutes les combinaisons, donnés par le logiciel SAP2000 sont résumés dans les tableaux qui suivent.

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

Poteau .

- ELU 1,35 G+1,5Q

Niveau	$N_{max}$ [kN]	$M_{cor}$ [kNm]	$M_{max}$ [kNm]	$N_{cor}$ [kN]	$N_{min}$ [kN]	$M_{cor}$ [kNm]	$T_{max}$ [ kN]
<b>RDC-SS-1</b>	1274.6 8	6.023	31.002	1113.169	753.571	-4.44	11.18
2-3-4	1090.4 3	17	36.78	976.82	976.82	-3	24.66
5-6-7	705.46	11.15	30.26	594.88	359.71.	-12.32	20.68
8	112.09	-0.14	7.86	5,45	73.84	4,55	5 .71

**Tableau 3 Efforts internes à l'ELU (Situation durable)**

- RPA G+Q±1.2E

Niveau	$N_{max}$ [kN]	$M_{cor}$ [kNm]	$M_{max}$ [kNm]	$N_{cor}$ [kN]	$N_{min}$ [kN]	$M_{cor}$ [kNm]	$T_{max}$ [ kN]
<b>RDC-SS-1</b>	1607.6 18	67.1	39.76	1034.34	242.77	-9.11	29.30
2-3-4	1424.7 0	41.72	107.73	960.71	385.604	10.74	70.21
5-6-7	831.72	52.85	66.26	762.46	218.74	4.88	56.6
8	110.32	12.02	11.88	91.53	5.14	10.56	9.30

**Tableau 4 Efforts internes sous G+Q±E (situation accidentelle).**

### VI.2.B. Ferrailage adoptés pour les poteaux.

Les armatures longitudinales obtenues pour les différents types de poteaux sont récapitulées dans le tableau suivant :

Niveau	Section $cm^2$	$A_{smin}$ RPA $cm^2$	$A_s$ réelle $cm^2$	Choix des barres
8	45 x45	8,1	15.2	<b>8T12+4T 14</b>
5-6-7	50 x50	14.4	20.35	<b>4T16+8T14</b>
2-3-4	55x55	22.5	24.11	<b>12T16</b>
RDC-SS-1	60 x60	27.3	28.63	<b>8T16+4T20</b>

**Tableau 5 Les résultats de ferrailage des poteaux.**

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

On constate que le ferrailage des poteaux est donné par la section minimale exigée par le R.PA/V2003.

### Vérification de la condition de non fragilité.

$$A_{s_{min}} \geq \frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e} = 2,86 \text{ cm}^2 \quad \text{la condition est largement vérifiée.}$$

### Armatures transversales.

Les calculs sont établis pour l'effort tranchant maximum, pour chaque niveau, et les résultats sont généralisés, dans le tableau ci-dessous, pour tous les poteaux.

### Vérification de la contrainte de cisaillement : « $\tau$ »

$$\tau = \frac{V}{bd}$$

$$\tau_{ult} = \min\{0,13 \cdot f_{c28} ; 4 \text{ MPa}\}$$

niveau	$V_{umax}$ KN	$\tau$ MPa	$\tau_{ult}$ KN
RDC-SS-1	69.50	0.11	3.25
2-3-4	70.21	0.312	3.25
5-6-7	56.6	0.40	3.25
8	9.71	0.35	3.25

**Tableau 6 Vérification des contraintes de cisaillement dans les poteaux.**

La section d'armature transversale  $A_t$ , dans les poteaux, est donnée par :

$$\frac{A_t}{St} = \frac{\rho_a \cdot V_U}{h \cdot f_e}$$

•  $\rho_a$ : Coefficient correcteur qui tient compte du mode fragile de rupture par effort tranchant donné en fonction de l'élançement géométrique  $\lambda_g$ , tel que :

$$\rho_a = 2,5 \quad \text{si } (\lambda_g) \text{ dans la direction considérée est supérieur ou égal à } 5.$$

$$\rho_a = 3,75 \quad \text{dans le cas contraire.}$$

$$\lambda_g = \frac{l_f}{i} = \frac{0,7 \cdot h_e}{b/\sqrt{12}}$$

$$\lambda_g = \frac{0,7 \times 3,37}{0,60/\sqrt{12}} = 13,61 > 5$$

Donc:  $\rho_a = 2,5$

$St$  : Espacement des armatures transversales dont la valeur maximale est donnée par :

En zone nodale :  $St \leq 10\text{cm}$ , on prend  $St = 10\text{cm}$

En zone courante :  $St = \min \{b/2, h/2, 10\phi\} = 20\text{cm}$ , on prend  $St = 15\text{cm}$  à  $20\text{cm}$

### • Zone courante

$$A_t = \frac{\rho_a \cdot V_U \cdot St}{h \cdot f_e} = \frac{2,5 \times 69,50 \cdot 10^{-3} \times 0,15}{0,6 \times 400}$$

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

$$A_t = 1.08 \text{ cm}^2$$

Le diamètre des armatures transversales est donné par :  $\frac{\phi_t}{3} \geq \phi_l$

$\phi_l$ : diamètre maximal (le plus grand) des armatures longitudinales :  $\phi_{t \min} \geq 8 \text{ mm}$

On adopte  $A_t = 4\text{T8} = 1.50 \text{ cm}^2$  (1 cadre+étier)

### • Zone nodale

On adopte  $A_t = 4\text{T8} = 2.01 \text{ cm}^2$

Les cadres doivent être fermés par des crochets à  $135^\circ$ , ayant une longueur de  $10 \phi_t$ . Soit  $l = 8 \text{ cm}$ .

La quantité d'armatures transversales minimale ( $A_t / St \times b$ ) en % est donnée comme suit :  $\lambda_g > 5$ , donc

$$\frac{A_t}{St \cdot b_l} = \frac{2.01}{10 \times 60} = 0.36\% > 0.3\%$$

Les résultats du ferrailage transversal pour les autres niveaux sont résumés dans le tableau suivant :

niveau	Section (cm)	Barres (transversale)		St (cm)	
		zone nodale	zone courante	zone nodale	zone courante
8	45 x 45	4T8	4T8	10	15
5-6-7	50 x 50	4T8	4T8	10	15
2-3-4	55 x 55	4T8	4T8	10	15
SS-RDC-1	60 x 60	4T8	4T8	10	15

Tableau 7 Les résultats de ferrailage transversale des poteaux.

### VI.3. Ferrailage des poutres :

Les poutres sont soumises aux moments fléchissants et des efforts tranchants. Donc elles sont calculées à la flexion simple. Leurs ferrailages sont obtenus sous l'effet des sollicitations les plus défavorables suivant les deux sens et pour les deux situations suivantes :

• Situation durable :  $\lambda_s = 1,15 \Rightarrow \sigma_s = 348 \text{ MPa}$

$$\lambda_b = 1,5 \Rightarrow f_{bu} = 14,7 \text{ MPa}$$

• Situation accidentelle :  $\lambda_s = 1 \Rightarrow \sigma_s = 408 \text{ MPa}$

$$\lambda_b = 1,15 \Rightarrow f_{bu} = 18,48 \text{ MPa}$$

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

### VI.3.A. Combinaisons des charges.

En fonction du type des sollicitations, nous distinguons les différentes combinaisons suivantes :

- selon BAEL 91 : E.L.U : 1,35 G +1,5 Q

- selon le R.P.A 99 : G+Q ± E et 0.8G ± E

### Recommandations du RPA99 pour le ferrailage des poutres.

#### 1. Armatures longitudinales.

- La section minimale des aciers longitudinaux sur toute la largeur de la poutre est de

$$A_{min}=0,5\%.b.h$$

- Le pourcentage maximum est de

4% en zone courante.

6% en zone de recouvrement.

- La longueur minimale de recouvrement est de 10 cm entre deux cadres et un minimum de trois cadres /nœuds.

- La longueur minimal de recouvrement est de  $40\phi$  (zone II).

- Les armatures longitudinales supérieures et inférieures doivent être coudées à  $90^\circ$ .

#### 2. Armatures transversales. (RPA 7.5.2.2).

- La quantité des armatures transversales doit vérifier :  $A_t=0.03 S.d.$

- L'espace maximum  $St_{max}$  entre les armatures transversales :

-Dans la zone nodale et en travée si les armatures comprimées sont nécessaires :

$$St_{min}=\min (h/4 ; 1,2\phi)$$

-En dehors de la zone nodale :  $St_{max} \leq h/2.$

### VI.3.B. Résultats du ferrailage.

#### • Armatures longitudinales

Section	sollicitation et combinaison		$A_s( cm^2)$		$A_{smin}$ RPA ( $cm^2$ )	Ferrailage adopté	
	08G-E	G+Q+E	travée	appuis		travée	appuis
	M travée t.m	M appuis t.m					
Poutre35x50	5.25	8.63	3.66	5.25	7.875	3T12+ 3T14	3T12+ 3T14
Poutre 30x45	1.08	0.89	0.84	0.69	6.78	6T12	6T12

Tableau 8 Ferrailage des poutres.

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

### Vérifications nécessaires pour les poutres.

1. La condition de non fragilité.

- Poutres principales

$$A_{smin} \geq \frac{0,23.b.d.f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 0,35 \times 0,405 \times 2,1}{400} = 1,71 \text{ cm}^2, \text{ la condition est largement vérifiée.}$$

- Poutres secondaires

$$A_{smin} \geq \frac{0,23.b.d.f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 0,30 \times 0,315 \times 2,1}{400} = 1,14 \text{ cm}^2, \text{ la condition est largement vérifiée.}$$

Les sections adoptées vérifient, également la condition de pourcentage minimum exigé par le RPA99/V2003

### b. Armatures transversales.

On considère le cas le plus défavorable.

- $V_{Umax} = 235.44 \text{ KN}$ .
- $\tau_{max} = \frac{V}{b.d} = \frac{0,23544}{0,35 \times 0,405} = 1.68 \text{ MPa}$
- $\tau_{ult} = \min(0.13f_{c28}; 4 \text{ MPa}) = 3.25 \text{ MPa}$  (fissuration peu nuisible).
- $\tau_{max} \geq \tau_{ult}$  (vérifiée).

### Dispositions constructives selon BAEL91.

Espacement :  $St \leq \min(0.9d; 40 \text{ cm})$ .

$$St \leq \min(36; 40 \text{ cm}).$$

### Dispositions constructives selon RPA99/2003

$$St \leq \min(h/4; 12\varphi_{lmin}). \text{ en zone nodale}$$

$$St \leq h/2 \text{ en dehors de la zone nodale}$$

$\varphi_{lmin}$  : diamètre minimum des armatures longitudinales.

On adopte :

$$St = 10 \text{ cm en zone nodale .}$$

$$St = 15 \text{ cm en dehors de la zone nodale}$$

### Vérification à L'ELU.

**Vérification au cisaillement pour l'influence de l'effort tranchant aux voisinages d'appuis.**

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

- Influence sur le béton : On vérifie que :

$$V_{max} \leq 0,267 \cdot a \cdot b \cdot f_{c28}$$

où :

$$a = 0,9 d ; a = 0,9 \cdot 0,45 = 0,364 \text{ cm.}$$

$$\text{donc: } 0,267 \cdot a \cdot b \cdot f_{c28} = 0,267 \cdot 0,364 \cdot 0,35 \cdot 25 = 85,03 \text{ t.}$$

$$V_{max} = 23,544 \text{ t} < 85,03 \text{ t.} \Rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

- Influence sur les armatures inférieures : On doit vérifier que :

$$V_u + \frac{M_a}{0,9 \cdot d} \leq 0$$

$$V_u + \frac{M_a}{0,9 \cdot d} = 23,54 + \left\{ \frac{-22,99}{0,9 \cdot 0,364} \right\} = -46,63 < 0 \text{ Condition vérifiée}$$

**Calcul de  $\phi_T$  :**

Le diamètre des armatures transversales est donné par :

$$\phi_T \leq \min \left\{ \frac{h}{35} ; \phi_{Lmin} ; \frac{b}{10} \right\}$$

On prend  $\phi_T = 8 \text{ mm}$

$$A_{tmin} = 0,03 \text{ S.d.}$$

- Poutre 40x50 :  $A_T \geq 1,21 \text{ cm}^2$
- Poutre 35x45 :  $A_T \geq 0,95 \text{ cm}^2$

On adopte : **1 cadre T8 + un étrier T8.**

$$\text{Soit } A_t = 1,5 \text{ cm}^2.$$

### VI.4. Ferrailage des voiles.

Les voiles sont soumis à un moment fléchissant et un effort tranchant provoqués par l'action du séisme, ainsi qu'un effort normal dû à la combinaison des charges permanentes, et d'exploitations.

Donc le ferrailage des voiles s'effectuera sous la flexion composée avec effort tranchant. Ce qui nécessitera une disposition du ferrailage suivant :

- Le plan vertical (**aciers verticaux**).
- Le plan horizontal (**aciers horizontaux**), ainsi que des **armatures transversales**.  
Le calcul s'effectuera selon le règlement BAEL91 et les vérifications selon le

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

règlement parasismique Algérien RPA 99/version 2003

### VI.4.A. Ferrailage vertical.

Le ferrailage vertical sera disposé de telle sorte qu'il prendra les contraintes de flexion composée, en tenant compte des prescriptions composées par le RPA 99/Version2003 décrites ci-dessous :

L'effort de traction engendré dans une partie du voile doit être repris en totalité par les armatures dont le pourcentage minimal est de 0.2% de la section horizontal de béton tendue.

Les barres verticales des zones extrêmes devraient être raccrochées avec des cadres horizontaux dont l'espacement ne doit pas être supérieur à l'épaisseur du voile.

les barres verticales du dernier niveau doivent être munies de crochets à la partie supérieure.

A chaque extrémité du voile (trumeau) l'espacement des barres doit être réduit de moitié sur 1/10 de la longueur de voile, cet espacement est au plus 15 cm (le ferrailage vertical doit être symétrique en raison de changement en terme de moment).

Le pourcentage minimal d'armatures longitudinal des trumeaux dans chaque direction est donné comme suit :

Globalement dans la section du voile égale a 0.15%  
En zone courante égale a 0.10%.

Si des efforts importants de compression agissant sur l'extrémité, les barres verticales doivent respecter les conditions imposées au poteau.

### VI.4.B. Ferrailage horizontal.

Les aciers horizontaux seront disposés perpendiculairement aux faces du voile.

Elles doivent être munies de crochets à (90°) ayant une longueur de  $10\Phi$ .

Dans le cas où il existe des talons de rigidité, les barres horizontales devront être ancrées sans crochets si les dimensions des talons permettront la réalisation d'un ancrage droit.

### Règles communes.

Dans le calcul du ferrailage des voiles, le RPA 99/v2003 préconise les règles suivantes :

L'espacement des barres horizontales et verticales doit être inférieur à :

$$S \leq \min (1.5 a ; 30\text{cm})$$

Avec : a est l'épaisseur du voile ;

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

Les deux nappes d'armatures doivent être reliées au moins avec quatre épingles au mètre carré dans chaque nappe ; les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur ; le diamètre des barres verticales et horizontales des voiles (à l'exception des zones d'about) ne devrait pas dépassé 1/10 de l'épaisseur de voile.

### Armatures transversales.

Les armatures transversales perpendiculaires à la face du voile sont des épingles en nombre au moins 4 épingles au mètre carré, servant à retenir les deux nappes d'armatures verticales.

### Sollicitations et principe de calcul.

#### a) Sollicitation de calcul.

- Pour le ferrailage :  $0.8 G \pm E$ .
- Pour la vérification :  $G + Q \pm E$ .

#### b) Principe de calcul.

Il existe plusieurs approches et méthodes de calcul dont on cite :

la méthode utilisant des mailles qui est basée sur la détermination des sollicitations ( $M_g$ ,  $M_d$ ,  $N_g$ ,  $N_d$ ) aux niveaux des nœuds de chaque maille de tous les voiles. Puis on calcule les sollicitations équivalentes ( $N_u$  et  $M_u$ ) pour chaque maille à

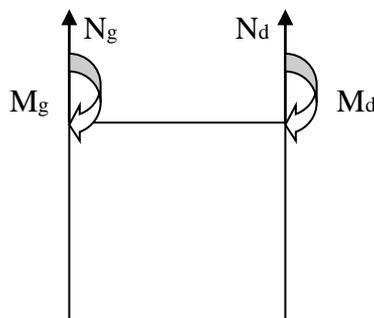


Figure 8 Schéma d'une maille de voile

son centre de gravité (G). Après avoir comparé les valeurs les plus défavorables des sollicitations (M, N), selon les différentes combinaisons considérées, on calcule le ferrailage de la maille.

La méthode de Navier, est une autre méthode de base pour la détermination des contraintes aux niveaux des voiles ou trumeaux. C'est cette méthode qu'on adopte pour la détermination du ferrailage de ses derniers.

Le calcul des armatures se fera donc, par la méthode des contraintes et vérifié selon R.P.A 99 sous les efforts N max et M cor,

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

### VI.4.C. Ferrailage vertical.

On utilise la méthode de Navier :

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M.v}{I}$$

Avec :

N : effort normal appliqué

M : Moment fléchissant appliqué.

A : Section transversale du voile.

v : Distance entre le centre de gravité du voile et la fibre la plus éloignée.

I : moment d'inertie.

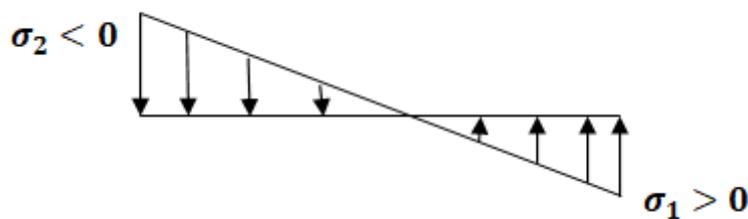


Figure 9 Schéma des contraintes développées dans un voile

Longueur de la zone tendue  $L_t = \frac{\sigma_2 \cdot L}{\sigma_2 + \sigma_1}$

Le calcul sera effectué pour des bandes verticales dont la largeur "d" est déterminée par [2]:

$$d \leq \min (h/2, 2l'/3)$$

Où :

l' : Longueur de la zone comprimée.

h : Hauteur entre nus de planchers du trumeau considéré.

#### Détermination des armatures verticales

$$F_t = \frac{\sigma_2 \cdot d \cdot a}{2}$$

D'où

$$A_{vtt} = \frac{F_t}{f_e}$$

#### Tableaux récapitulatifs de ferrailage des voiles.

La section d'armatures longitudinales sera vérifiée pour une partie tendue [], puis généralisée sur toute la longueur du voile, qui risque être tendue sous l'effet sismique. Le calcul des armatures des voiles V<sub>B</sub> on donne ci-dessous le cas le plus défavorable :

On a :

$$A_{min} = \max (0.2\% a.L; 0.15\% a.L)$$

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

Avec :

- L : longueur du voile ;
- $L_t$ : longueur tendue du voile ;

Et:

- St nodale =10cm ;
- St Courante=15cm.

VOILE	A $m^2$	I $m^4$	L m	N MN	M MN m	$\sigma_1$ M Pa	$\sigma_2$ M Pa	$L_t$ m	F(t) MN $cm^2$	$A_v$ $cm^2$	$A_{min}$	A adopté zone d'about	A adopté zone courante
$V_1$	0.61	0.47	3.37	1.29	0.06	2.1 1	2.12	1.51	0.32	8.07	9.15	2(3T14)	2(11T12)

**Tableau 9 Ferrailage vertical de voile.**

### Armatures horizontales.

D'après (R.P.A 99/2003):  $\frac{\bar{V}}{b_0.d} = \tau_b < \bar{\tau}_b \quad 0.2 f_{c28} = 5MP_a$

- $\bar{V} = V_{Ucalcul}$ .
- $b_0$  : épaisseur du voile.  $b_0 = 20$  cm
- $d = 0,9.h$  – (hauteur utile).
- $h$  : hauteur totale de la section brute. Tel que  $h = 3.37$ m ;
- $\tau_b$  : contrainte admissible du béton.

### Vérification de la contrainte de cisaillement.

le tableau récapitule les résultats relatifs à la vérification au cisaillement. Dont on vérifie le cas le plus défavorable pour chaque type de voile.

VOILE	Effort tranchant [kN]	$\tau_b$ $MP_a$	$\tau_b$ $MP_a$
$V_1$	424.16	1.06	5

**Tableau 10 Vérification de la contrainte de cisaillement dans les voiles.**

Donc les armatures horizontales ne sont pas nécessaires. On prend le minimum recommandé par le RPA ; tel que :

Le pourcentage minimal d'armatures est :

Si :

$$\tau_b \leq 0,025. f_{c28} = 0,625 MP_a \Rightarrow 0,15\% \text{ a } .1m$$

$$\tau_b > 0,025. f_{c28} = 0,625 MP_a \Rightarrow 0,25\% \text{ a } .1m$$

On prend  $A_s Hmin = 0.15. \% b.h$

## CHAPITRE VI : FERRAILLAGE DES ELEMENTS STRUCTURAUX

Voile	$V_1$
$A_s \text{ min } cm^2/ml$	5
$A_s \text{ min adoptée } cm^2/ml$	<b>5T12 (5.65cm<sup>2</sup>/ml)</b>

**Tableau 11 Ferrailage horizontal des voiles.**

### Espacement des barres dans les voiles selon le RPA.

L'espacement maximal des armatures longitudinales dans les voiles est donné par :  $St \leq \min(1.5 a; 30cm) = 22.5 \text{ cm}$ .

On prend  $St = 20cm$ .

## CHAPITRE VII : L'INFRASTRUCTURE.

### VII.1. Etude des fondations :

Les **fondations** d'un ouvrage assurent la transmission et la répartition des charges (poids propre et surcharges climatiques et d'utilisation) de cet ouvrage sur le sol. Le mode de fondation sera établi suivant la capacité portante du sol. Soit le sol en place a des qualités suffisantes pour qu'on puisse y fonder l'ouvrage, soit ses qualités sont médiocres et il faut alors le renforcer.

La fondation a aussi comme rôles :

- Limiter les tassements différentiels éventuels ;
- Assurer l'encastrement de la structure dans le terrain ;
- L'exploitation des sous-sols.

Il existe plusieurs types de fondations, la sélection se fait selon

- Capacité portante du sol d'assise.
- Charges transmises de la superstructure au sol.
- Distances entre les différents points d'appuis.
- Système structural adopté.
- le coût du projet.

On distingue des fondations :

- superficielles.
- semi- profondes.
- profondes.

Le choix de type de fondations est en fonction de plusieurs paramètres qui sont :

- Les caractéristiques du sol.
- Le type de la structure.
- Les charges transmises au sol.
- L'aspect économique.

### VII.2. Combinaisons des charges.

Selon le RPA99 version 2003, les combinaisons de charges qu'il faut considérer pour le dimensionnement des fondations sont :

$$G + Q \pm E / 0.8G \pm E$$

À l'aide de ces combinaisons de charges et avec un taux de travail admissible  $\sigma_{sol} = 2$  bars, on pourra déterminer le système de fondations à adopter.

### VII.3. Choix du type de fondations.

Le sol d'assise a une bonne capacité portante de **2 bars** de profondeur par rapport au terrain naturel. Pour choisir le type de fondation approprié on doit vérifier la surface totale nécessaire, on doit donc calculer l'effort transmis au sol.

## CHAPITRE VII : L'INFRASTRUCTURE.

Combinaison	Effort Normal [kN]	Moment Mx [kN. m]	Moment My [kN .m]
G + Q±E	35414.445	132324.6805	88082.4677
0.8G ± E	25526.307	125497.3537	53939.1935

Une fondation de type radier s'impose, donc on va adopter un radier avec une surface totale, donnée par :

La surface totale nécessaire est  $S_{nec} = \frac{N}{\sigma_{sol}}$

Selon le rapport de sol préliminaire, on a :

$$\sigma_{sol} = 2bars$$

Ancrage = 2m par rapport au terrain naturel.

$$N_s = 35414.445 \text{ KN}$$

### VII.4. Calcul du radier :

#### VII.4.A. Pré dimensionnement du radier :

Le radier fonctionne comme un plancher renversé dont les appuis sont constitués par les murs et les piliers de l'ossature, soumis à la réaction du sol agissant du bas vers le haut d'une manière uniforme (radier supposé infiniment rigide).

#### VII.4.B. Surface du radier :

Cette surface est déterminée par le taux de travail du sol.

$$S_{radier} = \frac{N}{\sigma_{sol}}$$

$$\text{On a } S_{base} = 236.411 \text{ m}^2$$

Avec:  $N = N_{ser} + N_{infra}$

$$N = N_{ser} + (P_{rad} + P_{dalle.f} + P_{mur} + P_{remb})$$

- $N_{ser}$  : effort normal de la superstructure à l'EIS qui égale à 3541.4445 t
- $P_{rad}$  : poids estimé du radier égale à  $236.411 \times 2,5 \times 0,3 = 177.30t$
- $P_{REMB}$  : poids estimé des remblais égal à  $236.411 \times 1,8 \times 0,5 = 212.77t$
- $P_{mur}$  : le poids du mur de soutènement égal à  $73.42 \times 2.6 \times 0,2 \times 2,5 = 477.23t$
- $P_{dalle.f}$  : le poids de la dalle flottante égal à  $236.411 \times 2,5 \times 0,12 = 70.92t$

On pose :  $P_{rad} + P_{dalle.f} + P_{mur} + P_{REM} = P_{infra}$  (poids de l'infrastructure).

$$P_{infra} = 177.30t + 425.5398t + 477.23t + 70.92t = 938.21t$$

D'où:

$$N = N_{ser} + (P_{rad} + P_{dalle.f} + P_{mur}) = 3541.4445 + 938.21 = 4499.6644t$$

$$S_{nec} \geq \frac{4499.6644}{16} = 281.22m^2$$

On la surface de la base :  $S_{base} = 236.4111 \text{ m}^2$ .

On remarque que :  $S_{rad} > S_{base}$ .

Donc  $S_{rad} = S_{base} + L_{deb} \times L_{périmètre}$

Soit  $L_{deb} = 80 \text{ cm}$ .

## CHAPITRE VII : L'INFRASTRUCTURE.

$$S_{rad} = 295.147m^2$$

### VII.4.C. Épaisseur du radier.

L'épaisseur du radier est déterminée par trois conditions :

#### Condition forfaitaire.

-au niveau des nervures.

$$h \geq \frac{L_{max}}{10}$$

$$\text{Avec : } L_{max} = 595cm$$

$$h \geq \frac{595}{10} = 59cm$$

Soit :  $h \geq 60cm$

#### Condition de non cisaillement :

$$\tau = \frac{v}{b \cdot d} \leq \bar{\tau} = 0.05f_{c28} = 1.25MPa$$

$$\rightarrow d = \frac{v}{\bar{\tau} \cdot b}$$

V: effort tranchant dans le panneau le plus sollicité.

$$V = q \cdot \frac{L_{max}}{2}$$

q: pression dans le radier  $\frac{N}{S_{rad}}$  pour une bande de 1 m

$$\rightarrow q = 20t/ml$$

$$\rightarrow v = 59.9t$$

$$D'où  $d \geq \frac{v}{\bar{\tau} \cdot b} \rightarrow d \geq 47.6 cm$$$

$$h = \frac{d}{0.9} = 0.53 cm$$

#### Condition de la rigidité:

Pour un radier rigide, dont la répartition des contraintes est linéaire on doit vérifier

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K \cdot b}} \rightarrow h \geq \sqrt[3]{\frac{3K}{E} \left(\frac{2L_{max}}{\pi}\right)^4}$$

Où :

- L : entre axe des poteaux égale à : 5.9 m
- $L_e$  : la longueur élastique.
- E : module d'élasticité du béton. ( $E = 32164,2 MN/m^2$ ).
- I : moment d'inertie de la section
- K : coefficient de raideur du sol (Coefficient de réaction mécanique)
- Soit  $K = 40 MN/m^3$ . (Sol moyen).
- b : largeur de la bande égale à 1m

$$h \geq 0.8m$$

Donc la disposition des nervures est une solution obligatoire pour rendre le radier rigide.

## CHAPITRE VII : L'INFRASTRUCTURE.

### Choix de l'épaisseur du radier

Nous adopterons pour l'épaisseur du radier :

$h=60\text{cm}$  ;

$h = 100 \text{ cm}$ , pour les nervures.

### VII.5. Vérifications diverses :

VII.5.A. Vérification des contraintes:

$$\sigma_{sol} = K \cdot \Delta_{lim} \leq \overline{\sigma_{sol}}$$

K : coefficient ballast  $K= 40\text{MN/m}^3$

$\Delta_{lim} = 0.0035m$  Déplacement élastique maximum.

$$\sigma_{sol} = 1.4\text{bar} \leq 2\text{bar}$$

### VII.6.Ferraillage du radier

- Le ferraillage du radier se calcule sous les sollicitations maximales obtenues par l'application des combinaisons les plus défavorables elles sont obtenues sous la combinaison :  $G+Q+E$
- Le calcul sera mené par les moments isostatiques du panneau dalle dont les dimensions sont importantes.
- On fait le calcul pour une bande de 1 m, d'épaisseur  $h=60\text{cm}$ , d'où :  $q = 20 \text{ t/m}$
- Le radier se calcule comme une dalle renversée, en flexion simple, la fissuration étant considérée comme très préjudiciable , et les calculs seront menés selon les prescriptions du BAEL, dont le ferraillage est calculé à ELS.

Pour tenir compte de la continuité, nous augmentons l'effort tranchant voisin de rive de 15%.

	Moments Isostatiques (KN.m/ml)	M.en travée (x0,85) (KN.m/ml)	M.en appui		Tx KN	1.15Tx KN
			(x0,5)	(x0,3)		
Suivant X	118.40	100.64	59.2	35.52	165.34	190.14
Suivant Y	66.01	56.10	59.2	35.52	184.46	212.14

M en appui de rive  $=0.3xM_{0x}$

M en appui continu  $=0.5 xM_{0x}$

$T_x$  : effort tranchant maximaux qui se situent au milieu des bords de la dalle.

Les résultats de ferraillage sont donnés dans le tableau suivant (l'enrobage est de 5cm).

- A l'ELS

Section d'armature en $\text{cm}^2$	Ast[ $\text{cm}^2$ ] En travée	Ast[ $\text{cm}^2$ ] En appui
Suivant X	12.084	6.974
Suivant Y	6.598	6.974

## CHAPITRE VII : L'INFRASTRUCTURE.

- A l'ELU

Section d'armature en cm <sup>2</sup>	Ast[cm <sup>2</sup> ] En travée	Ast[cm <sup>2</sup> ] En appui
Suivant X	6.55	3.82
Suivant Y	3.62	3.82

Ferraillage adopté

Section d'armature en cm <sup>2</sup>	Ast[cm <sup>2</sup> ] En travée	Ast[cm <sup>2</sup> ] En appui
Suivant X	8T14 (12.37)	5T14 (7.69)
Suivant Y	5T14 (7.69)	5T14 (7.69)

**Tableau 12 Ferraillage radier**

**Vérification au cisaillement :**

$$\tau = \frac{1.15T_{max}}{b.d} = \frac{0.213}{0.6 \times 0.9} = 0.394 < \tau_{admissible} = 0.05f_{c28} = 1.25MPa$$

Selon les résultats, on constate qu'il n'y a pas de risque de cisaillement.

Donc, les armatures transversales ne sont pas nécessaires.

**Ferraillage des nervures.**

Les nervures sont des sections en T inversé, ferraillées à la flexion simple. pour l'étude des nervures du radier on utilise la méthode forfaitaire. Comme pour une poutre continue. On utilisera pour tenir compte des moments de continuités les coefficients donnés par le BAEL.

Valeurs des moments en travée de la nervure la plus chargée :

Travée	Moment en travée Isostatique [MN.m]	Moment en travée Continue [MN.m]
AB	1.185	0.711
BC	0.79	0.474

Valeurs des moments sur appuis :

Appui	A	B	C
Moment [MN.m]	0	0.711	0

## CHAPITRE VII : L'INFRASTRUCTURE.

Pour le calcul du ferrailage on considère une section en T en travée, et une section rectangulaire sur appui.

On considère les moments max en appui et en travée pour le ferrailage du reste des nervures, les résultats sont données dans le tableau suivant :

	En appui	en travée
Section d'acier [cm <sup>2</sup> ]	<b>25.13</b> (8T20)	<b>25.13</b> (8T20)

### Vérification de l'effort tranchant :

$$\bar{\tau} = \min \left[ \frac{0.15}{\gamma_b} \times f_{c28}; 4MPa \right] \rightarrow \bar{\tau} = 2.5MPa$$

$$\tau = \frac{V_{max}}{b_0 \cdot d}$$

(V max =759.5KN) nœuds A, B.

$$\tau = 1.98 < 205MPa$$

Donc la condition est vérifiée. Les armatures de cisaillement ne sont pas nécessaires.

### Etude du débord du radier :

Le débord fonctionne comme une console soumise à une charge uniformément répartie, elle a comme dimensions : une portée = **0.8m**, hauteur = **0,6 m**, une bande de largeur **1m**.

Pour des raisons de la pratique et la réalisation, on adopte le même ferrailage du radier pour le débord.

### VII.7.Conclusion :

Le séisme en tant que chargement dynamique reste l'une des plus importantes et dangereuses actions à considérer dans le cadre de la conception et du calcul des structures. Or : les combinaisons sismiques donnent les résultats les plus défavorables pour le dimensionnement des fondations, et elles ont influé directement sur le choix de radier comme type de fondation, afin d'assurer une meilleure répartition des contraintes sur le sol.

## **Deuxième partie : Bilan thermique**

## **Introduction :**

L'explosion de la consommation d'énergie en Algérie et dans le monde lors des 20 dernières années a causée l'appauvrissement des ressources naturelles mais aussi une défaillance au niveau de l'écosystème et du climat.

Comme en Algérie, on n'étudie pas le bâtiment d'un point de vue énergétique et on néglige les échanges thermiques avec le milieu extérieur, on s'est retrouvé avec des constructions énergivore, alors ceci nécessite une sensibilisation et une sérieuse intervention pour faire face aux pertes et au gaspillage par l'application de la réglementation thermique (DTR) qui reste néanmoins non explicite sur les cas spécifique mais pour les standard c'est suffisant pour trouver des solutions admissibles pour une bonne isolation thermique.

Dans notre cas l'isolation est une protection de la structure contre les facteurs climatiques et les variations de la température qui peuvent troubler le confort des usagers (surtout en été avec l'ensoleillement).

### **Objet de l'étude thermique :**

- ✓ Détermination des déperditions calorifiques des bâtiments.
- ✓ Vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique.
- ✓ Détermination de la puissance de chauffage.

Lors de l'installation d'un chauffage dans une structure il faut d'abord déterminer la puissance nécessaire pour assurer une température ambiante suffisantes a l'utilisateur (car l'analyse ce fait en fonction d'échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur) et prendre en considération l'économie d'énergie.

Chauffer un local c'est lui fournir une quantité de chaleur qui compense ses pertes vers l'extérieur de manière à amener sa température à un niveau de confort déterminé.

Les pertes du local se produisent à travers les parois et par l'air qui s'échappe par les ouvertures ou leurs interstices. Elles sont d'autant plus importantes que l'écart est élevé entre les températures internes et externes.

### **Remarque :**

Au départ de notre préparation du projet de fin d'étude, nous nous sommes intéressés à la conception des murs rideaux et nous avons dans ce sens fait une visite à Oran dans le site de la SONATRACH afin de se familiariser avec le concept architectural, les avantages, les inconvénients, le confort thermique des occupants ...

Dans ce cadre nous avons voulu faire une enquête en préparant certaines questions qui nous ont vraiment aidés à mieux comprendre le fonctionnement des systèmes énergétiques à l'intérieur de ce genre de bâtiments.

Les quelques questions posées sont les suivantes :

1. Edifice administratif à combien d'étages ?

L'immeuble contient plus de 400 bureaux sur 16 étages.

2. Trouvez-vous votre édifice inconfortable d'un point de vue thermique ?

Oui, très chaud les jours de soleil surtout les locaux non climatisés.

3. Constatez-vous des courants d'air indésirables au sein de votre bureau en hiver ?

Non.

4. Trouvez-vous que votre installation de chauffage est performante ?

Oui.

**Trouvez-vous que le système de ventilation fonctionne bien ?**

**Oui.**

5. Les protections solaires des vitrages vous semblent-elles suffisantes ?

**Non.**

6. L'accès de la lumière naturelle dans votre bureau est-il confortable ?

Oui.

7. Avez-vous le réflexe d'éteindre la lumière artificielle quand elle n'est pas nécessaire ?

Parfois

8. Y a-t-il des problèmes d'humidité dans votre bureau (traces de moisissures sur les fenêtres, sur les murs, ...) ?

Non.

9. Comment qualifier vous le confort thermique dans votre bureau durant la saison automnale ? (21 septembre – 20 décembre)

Très froid		Satisfait			Trop chaud	
-3	-2	-1	0	1	2	3
			x			

10. Comment qualifier vous le confort thermique dans votre bureau durant la saison hivernale ? (21 décembre – 20 mars)

Très froid		Satisfait			Trop chaud	
-3	-2	-1	0	1	2	3
		x				

11. Comment qualifier vous le confort thermique dans votre bureau durant la saison printanière ? (21 mars – 20 juin)

Très froid		Satisfait			Trop chaud	
-3	-2	-1	0	1	2	3
					x	

12. Comment qualifier vous le confort thermique dans votre bureau durant la saison estivale ? (21 juin – 20 septembre)

Très froid		Satisfait			Trop chaud	
-3	-2	-1	0	1	2	3
					x	

13. Lors d'une conception d'un immeuble de bureaux ; pouvez-vous me dire pour quelles raisons vous intégrez ou favorisez une forte proportion de vitrage au niveau des façades ?

- Transparence intérieure/extérieure.
- Une forme innovante qui casse la monotonie.
- Eclairage naturel qui permet une liberté d'aménagement.

# Chapitre I: Notions de base

## Chapitre I: Notions de base

### I.1 Les modes d'échanges thermiques :

Le transport de la chaleur peut s'effectuer de proche en proche dans un matériau solide sans que les particules de celui-ci soient elles même déplacées. Il peut aussi se produire d'un corps à un autre sans aucun contact ni support matériel. Enfin, il peut accompagner le déplacement des particules d'un fluide qui transportent avec elles l'énergie qu'elles ont reçue.

Ces trois modes de transmission de l'énergie correspondent à trois phénomènes physiques parfaitement distincts qui sont : la conduction, le rayonnement et la convection.

#### a) Par rayonnement :

Tous les corps solides et liquides émettent, par leur surface de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques. Si cette énergie rencontre un corps absorbant ses longueurs d'ondes, elle se transforme en chaleur.

#### b) Par convection :

Ce mode d'échange thermique est propre aux fluides, les molécules directement au contact d'une surface solide absorbent ou cèdent de la chaleur suivant les températures respectives de la surface et des fluides.

#### c) Par conduction :

La conduction traduit l'échange de chaleur s'effectuent par propagation à l'intérieur d'un solide.

Le phénomène de l'échange de chaleur entre deux ambiances (extérieure et intérieure) de température différente ( $T_i > T_0$ ), séparées par une paroi, s'effectue par la façon suivante :

La chaleur issue du milieu intérieur est transmise par rayonnement et convection. Elle traverse la paroi par conduction, puis elle est restituée au milieu extérieur par rayonnement et convection.

**Remarque :** le transfert de chaleur se fait du milieu chaud vers milieu froid.

### I.2 Flux de chaleur :

Le flux de chaleur (symbole «  $\Phi$  ») est la quantité de chaleur ( $Q$ ) échangée par unité de temps ( $t$ ) :

$$\varphi = \frac{Q}{t}$$

Il exprime une énergie par unité de temps, c'est-à-dire une puissance, et se mesure en Watt.

### I.3 Coefficient de conductivité :

La conductivité thermique d'un corps (symbole «  $\lambda$  ») est par définition, la densité de flux le traversant pour une différence de  $1^\circ\text{C}$  entre les deux faces séparés par un mètre d'épaisseur.

## Chapitre I: Notions de base

Elle s'exprime, dans le système SI en :  $[W /m^2 \text{ } ^\circ C]$  (c'est l'unité que nous employons partout, sauf indication spécial).

**Remarque :** les valeurs indiquées dans les tables de calcul, et en particulier celles données par le « D.T.R », tiennent compte d'un certain taux d'humidité courant et d'une température conventionnelle ; de ce fait ils sont dénommés «  $\lambda$  utiles » exprimés en  $[W /m^2 \cdot ^\circ C]$

### I.4 Résistance thermique :

Dans les calculs à effectuer en isolation thermique, on a besoin de connaître la résistance d'un corps d'épaisseur donné au flux de chaleur. Cette résistance thermique notée

«R » est proportionnel à sa conductivité :  $R = \frac{e}{\lambda} [m^2 \cdot ^\circ C/W]$

### I.5 Coefficient de transmission surfacique K :

Dans le cas d'un mur séparant deux ambiances internes le coefficient « K » est donné

par la formule :  $\frac{1}{K} = \sum R + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$

$\sum R$  exprimée en  $[m^2 \cdot ^\circ C/W]$  représente la somme des résistances thermiques des différents couches des matériaux constituant la paroi.

$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} [m^2 \cdot ^\circ C/W]$  représente la somme des coefficients d'échanges superficielle, prise conformément aux conventions adoptés.

### I.6 Les déperditions calorifiques :

Elles sont égales au flux de chaleur sortant d'un local, ou d'un groupe de locaux par transmission de chaleur à travers les parois et par renouvellement d'air pour un degré d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. Elles sont exprimées en  $[W/^\circ C]$

#### Remarques :

- Un logement peut être considéré comme un local unique ou un groupe de locaux
- les déperditions calorifiques sont calculées en régime stationnaire et indépendant du système de chauffage.
- 

### I.7 L'impact de l'orientation d'un bâtiment :

On a souvent tendance à sous-estimer l'importance de l'**orientation d'un bâtiment**. Pourtant, des études démontrent que celle-ci peut avoir un impact considérable sur le confort et les frais de chauffage. Ainsi, une orientation optimale peut se traduire par des économies de chauffage de l'ordre de 10 à 30% pour une construction d'habitation ordinaire, voire jusqu'à 70% pour un ouvrage **basse énergie ou passif**. Cela ne vous demande pas d'investissement supplémentaire, mais un peu de réflexion avec votre architecte avant le début des travaux.

**Orientation du terrain : en harmonie avec l'environnement, le soleil et le vent**

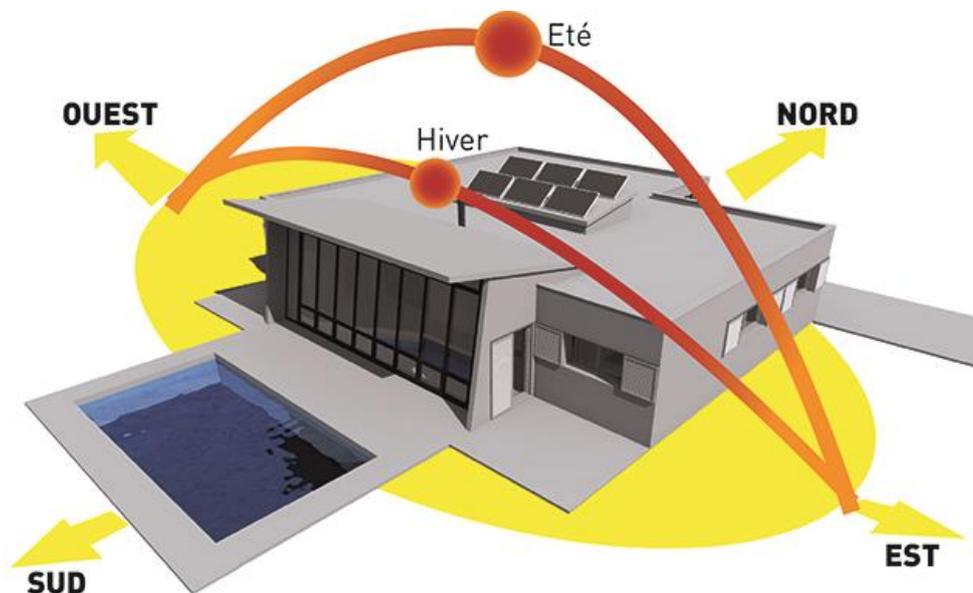
## Chapitre I: Notions de base

Une bonne orientation de l'habitation commence déjà par le terrain. L'orientation par rapport au sud représente un critère de choix, certes, mais ne vous limitez pas à cet aspect ! Un bâtiment orienté de façon optimale est avant tout en harmonie avec son environnement et la nature. Le soleil sur le sol, la pente du terrain, le relief et la végétation déterminent dans quelle mesure vous pouvez profiter de l'énergie provenant du soleil et du vent.

Jouer sur la position nord-sud

Disposer d'un terrain permettant de construire une maison ouverte au sud et relativement fermée au nord est bien plus important que de disposer d'un terrain orienté au nord. Cela signifie aussi que la lumière du soleil ne peut être bloquée, en hiver, par un immeuble.

Vous avez tout intérêt à profiter de ce soleil d'hiver afin de chauffer votre maison. Il convient donc surtout de réfléchir avec votre architecte en fonction de votre terrain : la bonne habitation est celle qui est adaptée au terrain sur lequel elle se trouve.



### Concept architectural : ouvert au sud, fermé au nord

Une fois le terrain à bâtir choisi, il convient de concevoir l'habitation de manière optimale en fonction de son orientation.

- De grandes fenêtres au sud

Les fenêtres ont surtout une fonction esthétique, mais constituent le maillon faible dans une habitation, car elles offrent une isolation limitée. D'autre part, une fenêtre permet de faire entrer beaucoup de lumière ainsi que la chaleur du soleil. Il convient donc de prévoir plus de vitres aux endroits où les rayons de soleil sont présents et limiter au maximum les

## Chapitre I: Notions de base

fenêtres du côté nord de votre habitation. N'exagérez cependant pas ! Le risque de chaleur excessive est bien réel.

- Construction ouverte, fermée ou semi-ouverte

Alors qu'une construction ouverte permet une répartition plus libre des espaces, la surface de déperdition dans une construction semi-ouverte ou fermée est limitée. En termes d'économies d'énergie, une construction semi-ouverte mal orientée affiche même parfois de meilleures prestations qu'une construction ouverte bien orientée.

## Chapitre II : Technique du mur rideau

### Chapitre II : Technique du mur rideau

#### II.1 Origine du mur rideau :

Il semble que l'origine de l'utilisation du verre et du métal pour la réalisation de façades s'enracinant à la structure de bâtiments date de la fin du 19<sup>e</sup> siècle. En effet, on retrouve dans les manuels d'architecture plusieurs bâtiments de différents types datant de cette période et dont les grandes façades sont faites de verre. Certes, il y avait certaines limites structurales, mais le principe d'ouverture vers l'extérieur était lancé.

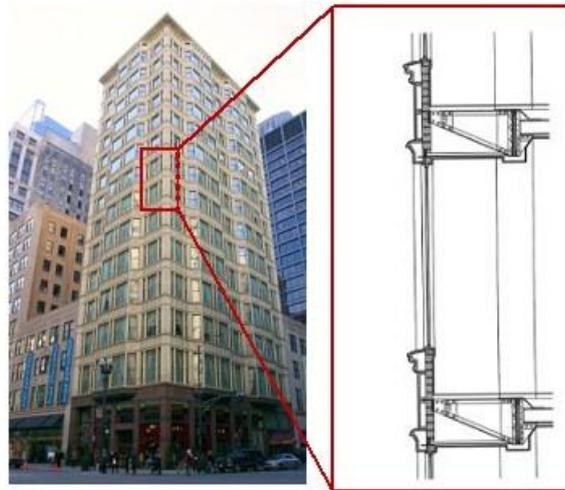


Figure 10 Cage Group Buildings Chicago, Illinois, Holabird and Roche, (1899)



Figure 11 L'usine de souliers Fagus, Allemagne, Walter Gropius et Adolf Meyer (1911)

## Chapitre II : Technique du mur rideau



**Figure 12 Hallidie Building, San Francisco, Californie, Willis Polk, 1918**

Des difficultés techniques telles que l'isolation déficiente, les infiltrations d'eau, l'éblouissement par le verre ou même la difficulté d'entretien ont ralenti l'utilisation des façades de verre, particulièrement dans les bâtiments en hauteur. Malgré cela, à partir de la deuxième Guerre mondiale, des évolutions dans la technologie ont rendu possible la réalisation de bâtiments de grande hauteur complètement en verre et métal. Le premier exemple de bâtiment de grande hauteur en Amérique du Nord est le 860-880 Lake Shore Drive à Chicago, conçu par le célèbre architecte Ludwig Mies van der Rohe.



**Figure 13 Lake-Shore Drive, Chicago, Illinois**

## Chapitre II : Technique du mur rideau

Dans les années 50, l'industrialisation de produits d'aluminium comme matériaux de construction a finalement permis le développement de nouvelles techniques de construction. Les alliages d'aluminium sont plus légers que les matériaux bruts jusqu'alors utilisés et permettent des portées beaucoup plus grandes. Parallèlement, l'évolution technologique des produits verriers permet la création de baies de verre beaucoup plus grandes, plus solides et plus performantes. Les murs-rideaux, tels qu'on les connaît aujourd'hui, voient graduellement le jour.



**Figure 14 John Hancock Tower, Boston, I.M. Pei et associés (1976)**

### II.2 Définition du mur rideau :

Le mur-rideau contemporain est un assemblage de fenestration agissant comme système de mur non porteur qui est suspendu, par des points d'ancrage, à la face extérieure de la structure d'un bâtiment. Les points d'ancrage sont fixés à la structure selon une grille qui permet la répartition des charges du mur-rideau, causées par son propre poids et par les charges qu'il impose à cause de l'interaction avec les éléments naturels, par exemple les charges dues aux vents. L'assemblage, en usine ou au chantier, de ses composantes préfabriquées, forme un système continu et cohérent d'écran pare-pluie, pare-air et pare-vapeur et comprend des éléments opaques ou transparents, ouvrants ou fixes. Typiquement, un mur-rideau est composé d'unités de vitrage simple, double ou triple de dimensions variables, de tympans isolés et d'une structure légère d'aluminium. Ils peuvent aujourd'hui être choisis par catalogue selon les détails standards d'une série spécifique à un fabricant, ou dessinés sur mesure pour un projet particulier.

L'utilisation répandue des systèmes de mur-rideau d'aluminium et de verre et leur développement constant sont dus à leur grande flexibilité de design, aux économies d'espace dans les bâtiments, à l'accélération du processus de construction des façades et à l'amélioration significative des performances techniques.

## Chapitre II : Technique du mur rideau

Les systèmes muraux doivent généralement répondre à de nombreuses contraintes afin d'atteindre les performances attendues. Ils doivent notamment:

- avoir une résistance et une rigidité structurales suffisantes;
- faire obstacle aux mouvements de l'air;
- faire obstacle aux précipitations;
- faire obstacle aux mouvements de vapeur d'eau;
- faire obstacle aux mouvements de la chaleur;
- résister au rayonnement solaire;
- optimiser l'éclairage naturel selon les besoins;
- résister à la propagation des flammes;
- éviter la propagation d'odeurs;
- atténuer la transmission du son et des vibrations;
- présenter une bonne durabilité des composantes;
- être esthétique et être réalisé à coût compétitif.

### II.3 Type de vitrage :

Double vitrage :

- Deux feuilles de verre ordinaire, séparées par une lame d'air sec Valeur  $k = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Vitrage à haut rendement (HR) : Double vitrage revêtu d'une couche métallique transparente thermo réfléchissante sur la surface intérieure de la fenêtre qui maintient la chaleur à l'intérieur, valeur  $k = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Vitrage à haut rendement à gaz thermique : La couche d'air est remplie de gaz argon - Valeur  $k = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Vitre autonettoyante :  
Grâce à un revêtement minéral ayant des propriétés photocatalytiques et hydrophiles, le verre est rendu plus propre au fur et à mesure qu'il pleut. Le revêtement utilise, en d'autres termes, le fonctionnement du rayonnement des UV et de l'eau de pluie sur la vitre pour éliminer la saleté. Le revêtement empêche les rayons du soleil d'entrer dans votre intimité cela évite le réchauffement puissant du soleil. Valeur  $k = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Verre feuilleté : Deux ou plusieurs feuilles de verre, étanches à l'air et collées ensemble, entre ces deux feuilles se trouve un film transparent qui retient les éclats de verre en cas de bris de vitre. Plusieurs couches de verre feuilleté offrent une protection contre le cambriolage et retient à l'extérieur les rayons UV et ainsi offre la protection contre la décoloration de l'intérieur
- Verre chauffant : Une couche de protection métallique entre deux feuilles de verre - si alimentée électriquement-permet de réchauffer la vitre intérieure, les fenêtres ne sont jamais froides, la condensation est exclue
- Verre blindé électriquement : Au moyen du courant électrique, le verre est rendu mat. Débrancher le courant le rend à nouveau transparent.

### II.4 Principes de conception d'un mur extérieur :

Au sens large, l'enveloppe d'un bâtiment est un ensemble d'éléments reliés entre eux qui servent d'écran entre l'intérieur et l'extérieur. Ces éléments englobent les murs extérieurs, la toiture, les fenêtres et les portes, et parfois les planchers à découvert. L'enveloppe d'un

## Chapitre II : Technique du mur rideau

bâtiment a pour fonction de s'opposer à la pénétration de la neige, du vent, de la pluie et du soleil tout en assurant les conditions intérieures souhaitées. L'enveloppe doit satisfaire de nombreuses exigences, dont six seront mentionnées ici:

- Limiter l'écoulement d'air,
- Limiter l'écoulement thermique,
- Limiter la pénétration de la neige et de la pluie,
- Limiter les effets du rayonnement solaire et autres formes d'énergie radiante,
- Limiter la diffusion de la vapeur d'eau,
- S'adapter aux mouvements du bâtiment.

La plupart des murs-rideaux sont étanches à l'air et préviennent donc les fuites d'air à cause des propriétés intrinsèques du verre et des tubes d'acier ou d'aluminium. La continuité de l'écran pare-vent est assurée par la continuité entre le panneau de verre, la garniture d'étanchéité à l'air aux épaulements du support tubulaire, l'élément en aluminium et l'épaulement suivant. La garniture d'étanchéité à l'air entre l'épaulement inférieur du support et le coffrage métallique du panneau-tympan assure la continuité de l'écran pare-vent jusqu'au prochain support. Ce genre de système est mis à l'essai régulièrement sous pression d'air afin de déterminer les propriétés structurales du verre, du métal et des garnitures, ainsi que l'aire de fuites équivalente. De plus, l'Association des fabricants d'aluminium architectural impose à ses membres plusieurs autres exigences, dont celle qui prévoit des fuites maximales de 0,30 l/s par m<sup>2</sup> de mur pour une différence de pression qui correspond à un vent de 40 km/h.

### II.5 Les façades rideaux à ossature « grille » :

Les façades rideaux sont constituées d'une ossature secondaire faite de montants filants et de traverses fixées de montant à montant. L'ensemble est fixé aux nez des planchers de chaque niveau. Cette ossature peut ainsi supporter des remplissages vitrés ou opaques. C'est une technique où les éléments sont préfabriqués et montés sur place. Chaque montant de l'ossature est accroché à la structure principale. Les traverses peuvent être encastrées ou emboîtées aux montants. Pour absorber les mouvements de la façade (dus aux efforts du vent, le poids des remplissages, la dilatation et les chocs prévus réglementaires), les montants et traverses sont liaisonnés par un système de manchons : les montants sont fixés comme une structure secondaire aux planchers avec des douilles ou des rails ancrés dans la dalle.

Les fenêtres sont fixées de trois manières différentes :

- Les vitrages fixes sont directement serrés contre la grille d'ossature.
- Les fenêtres (ouvrant et dormant) sont fixées entre les montants et les traverses C'est le cas le plus courant.
- Les montants peuvent être utilisés comme dormant de la fenêtre.

### II.6 Les façades rideaux à ossature « cadre » :

Elles sont composées de montants, de traverses et d'un remplissage vitré ou opaque, (qui, contrairement aux « grilles », sont pré-assemblés), puis fixés aux planchers de chaque niveau. Les cadres sont indépendants les uns des autres, ils sont accrochés au gros œuvre de manière

## Chapitre II : Technique du mur rideau

à se dilater librement dans le sens horizontal et vertical.

Le cadre est fixé au plancher à l'aide d'accroches fixées aux angles. Les attaches hautes sont fixes pour reprendre les charges verticales et celles du vent, et les attaches basses présentent un jeu pour permettre un mouvement de dilatation : les joints entre cadres doivent faire l'objet d'une attention particulière. Les profilés en caoutchouc relient les cadres entre eux ou procèdent par recouvrement.

### II.7 Les éléments de remplissage :

Ce sont des matériaux simples ou composites qui s'insèrent dans l'ossature de la façade légère pour en remplir les vides et former la façade. Ces éléments peuvent être fixes ou mobiles, isolants ou non, opaques, transparents ou translucides; ils doivent, en tous cas, assurer leur propre stabilité. Les éléments de remplissage sont indépendants de la nature de l'ossature. Des exigences élevées : On doit sélectionner des matériaux en plaques ou en feuilles, incombustibles, résistants aux conditions atmosphériques et de belle apparence. En plus des produits verriers rencontrés dans les fenêtres des façades traditionnelles, on rencontrera donc

✓ Les matériaux isolants :

- a. Les laines minérales.
- b. Certains bois très légers comme le balsa.
- c. Le verre cellulaire.
- d. Les mousses de résines synthétiques :
  - le polystyrène,
  - le polyuréthane,
- e. Le liège aggloméré.
- f. Les panneaux isolants de fibres.

✓ Les parois extérieures :

Les parois rarement employées seules, constituent généralement les faces rigides des complexes isolants ou servent de parement à ces complexes, dont elles sont alors séparées par une lame d'air. Certaines parois, outre leur résistance propre, possèdent les qualités d'aspect nécessaires à un parement décoratif. Il s'agit par exemple, de tôles d'acier inoxydable, de verre ou de glaces trempées colorées dans la masse, de tôle d'aluminium teintées ou non ou encore de tôle de cuivre. D'autres n'offrent pas un aspect suffisamment esthétique et sont alors revêtus sur la face visible d'un revêtement extérieur de décoration, dont :

- a. Les produits verriers qui sont utilisés dans ce but sont : le verre coulé coloré dans la masse (armé ou non), le verre opaque, le verre opalescent, le verre émaillé, le verre façonné.
- b. Les tôles d'acier :
  - inoxydable,
  - recouverte d'émail vitrifié à haute température,
  - galvanisée ou électro zinguée à peindre sur chantier,
  - laquée au four en usine sur support laminé à froid, électro zingué ou galvanisé,
  - pré peinte en continu en usine.
- c. Les tôles d'aluminium planes ou à dessins sont utilisées sous différents états.
- d. Le bois déroulé ou tranché.

## Chapitre II : Technique du mur rideau

- e. Le bois massif.
- f. Les plaques en asbeste-ciment.
- g. Les feuilles de matières plastiques les plus diverses collées sur le parement.
- h. Les peintures appliquées à froid.

✓ Les parties transparentes et translucides en matières plastiques :

a. Les stratifiés en polyester renforcés à la fibre de verre : des éléments translucides de toutes formes et de toutes dimensions peuvent être obtenus par imprégnation de tissus de fibres de verre à l'aide de diverses résines polyesters.

-nid d'abeilles

-âme polyester

b. Les plaques de chlorure de polyvinyle : les plaques translucides et transparentes en P.V.C sont utilisées principalement en bardage extérieur et pour la décoration intérieure.

c. Les plaques en polyméthacrylate de méthyle : ces plaques transparentes d'aspect lisse, sont obtenues par moulage..

### II.8 Assurer l'étanchéité :

#### Un problème complexe

Le mur-rideau étant conçu par juxtaposition d'éléments, il y a discontinuité à chaque joint entre chacun d'eux. Ces discontinuités sont potentiellement des points faibles du point de vue de l'étanchéité. Il est donc indispensable de les concevoir et de les réaliser soigneusement de façon à garantir la performance de l'enveloppe. Ce n'est pas une tâche simple car le ruissellement de l'eau additionné aux pressions du vent est un phénomène complexe : il n'est, par exemple, pas exclu de voir l'eau remonter de bas en haut sur une façade en raison de courants d'air ascendants.

On rencontre ainsi différents problèmes sur le terrain qu'il faut éviter:

- assemblage mal étanché dès la réalisation,
- déformation sous l'effet du vent des différents éléments de châssis entraînant l'ouverture des joints et la pénétration de l'eau,
- étanchéité difficilement assurée au droit des extrémités des montants médians des châssis coulissants,
- discontinuité des joints d'étanchéité aux angles et raccords,
- absence de contact entre le joint d'étanchéité du mur rideau et le gros-œuvre, cela avec ou sans effet du vent,
- trous d'évacuation d'eau insuffisants ou obturés et orifices de ventilation non protégés,
- quincaillerie mal conçue ou mal ajustée,
- désordre dans les acrotères et les allèges,
- passage d'air au droit des habillages et des étanchéités,
- passage d'air par les capots de fermetures,
- passage d'air par les profils d'ossatures,

## Chapitre II : Technique du mur rideau

### II.9 Assurer la sécurité

Le mur-rideau pouvant couvrir aussi bien la façade du rez-de-chaussée que le 33ème étage, de nombreux aspects sécuritaires sont à assurer.

#### a. Sécurité au vent

#### b. Sécurité au bris de glace

Problème de sécurité :

- Verre armé : si le verre casse, les morceaux sont retenus par les treillis. Au point de vue aspect, il faut accepter la présence visible du treillis.
- Verre trempé: l'opération de trempage a pour effet de mettre les couches externes du verre en compression et les couches internes en tension. S'il casse, c'est en tout petits morceaux pratiquement non coupants et qui, de ce fait, présentent peu de danger. Il a une résistance accrue à la flexion, à la pression, à la torsion et aux chocs thermiques et/ou mécaniques.
- Verre feuilleté : une couche de plastique, intercalaire en butyral de polyvinyle (PVB) est placée entre les verres. S'il casse, les morceaux de verres restent ensemble, et l'étanchéité est maintenue.

Propriétés du verre feuilleté :

- Ne se désintègre pas en cas de chocs, les morceaux restent en place collant à l'intercalaire.
- Ne se brise qu'au point d'impact.
- Doit être découpé sur les deux faces du vitrage.
- Peut facilement être intégré dans un double vitrage.
- Est facilement disponible en toutes dimensions et se pose rapidement.
- Existe en différentes épaisseurs.

Avantages du verre feuilleté :

- Minimise les risques de blessures et empêche le passage à travers le vitrage.
  - Limite les conséquences du vandalisme.
  - Elimine ou retarde toute tentative d'effraction.
  - Procure simultanément sécurité et isolation thermique.
  - Ne requiert pas de main-d'œuvre spécialisée.
  - Permet une large sélection en fonction du niveau de sécurité souhaitée.
- Verre durci : verre qui a subi un traitement semblable à celui du verre trempé, ce qui lui confère des propriétés similaires, sauf en cas de bris de verre. L'aspect d'un verre durci cassé est proche de celui d'un verre recuit, il se casse en grands morceaux. Mais il est plus résistant que le verre recuit. Le risque de chute de verre en cas de bris est donc réduit par rapport au verre trempé : les grands morceaux restent généralement en place dans le châssis. Mais il ne peut pas être considéré comme un verre de sécurité au sens des normes.

## Chapitre II : Technique du mur rideau

### c. Sécurité au vandalisme et à l'effraction

Pour améliorer la résistance du mur-rideau à l'effraction, on augmente l'épaisseur du vitrage, et on utilise du verre feuilleté.

### II.10 Limiter la transmission du bruit

L'objectif consiste généralement à ne pas dépasser un niveau de pression acoustique intérieur de 35 dB.

Cette exigence requiert un isolement acoustique du mur rideau par rapport aux bruits extérieurs, mais aussi un isolement acoustique des bruits intérieurs (passage du bruit d'un étage à l'autre le long de la façade).

#### a. Isolement aux bruits extérieurs

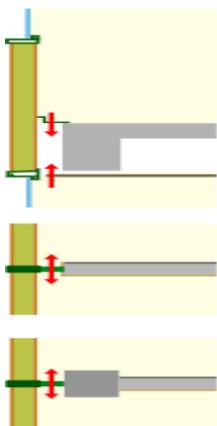
Pour assurer l'isolement phonique d'une façade, il faut principalement :

- garantir l'isolement phonique des parties vitrées ;
- veiller aux joints de raccordement des divers éléments, pour éviter la présence de "ponts" et de "fissures" acoustiques.

Les bâtiments de grande hauteur ne possèdent pas de fenêtres ouvrantes car la pression du vent en hauteur est trop importante. Tout au plus y prévoit-on quelques ouvertures de déménagement. La performance de leur façade est donc meilleure car avec des fenêtres fixes, on a la garantie que le bruit ne passe pas par les interstices des joints des ouvrants (source de bruit n°1).

Pour les parois vitrées, on utilise un vitrage acoustique. Il s'agit généralement d'un double vitrage (voire un triple vitrage) avec des épaisseurs de couches différentes, d'un vitrage avec du gel entre les deux verres (mais perte de transparence), ou alors de vitrage feuilleté.

#### b. Isolement aux bruits intérieurs :



Les bruits intérieurs se transmettent directement par le verre de la façade (transmission par mise en vibration du mur-rideau).

## **Chapitre II : Technique du mur rideau**

Il faut donc une bonne jonction en about de dalle :

1. raccords aux planchers,
2. raccords aux murs de refend,
3. raccords aux poteaux.

## **Chapitre III : Choix du mur rideau : (ossature et vitrage)**

### **Chapitre III : Choix du mur rideau : (ossature et vitrage)**

Le mur-rideau (aussi appelé « façade rideau ») est un type de façade légère. C'est un mur qui assure la fermeture de l'enveloppe du bâtiment sans participer à sa stabilité

#### **III.1 Les murs rideaux se composent de vitrage et d'un support en aluminium:**

1- Les techniques d'accrochage du verre :

On entend par "façade vitrée" une façade rideau généreusement constituée de vitrages. Les remplissages vitrés sont mis en œuvre soit directement dans la grille, soit dans les fenêtres placées dans cette dernière. L'intégration se réalise selon trois méthodes : par verre extérieur collé (VEC), parclosé (VEP) ou attaché (VEA).

Façade VEP (vitrage extérieur parclosé) :

Une façade VEP est une façade légère en structure aluminium dont les vitrages, posés de l'extérieur, sont maintenus par des parclosés.

Cette méthode d'assemblage permet, comme pour une façade VEC, d'alterner des panneaux fixes avec des ouvrants – à la française, oscillo-battants, à l'anglaise, à l'italienne – tout en préservant un aspect intérieur/extérieur uniforme.

Un mur rideau aspect VEP se reconnaît à son effet de damier ou de cadres. Ses panneaux vitrés sont maintenus par des parcloches sur des profilés aluminium ouvrants ou fixes, et séparés par des joints creux. Chaque cadre est indépendant et dispose de sa propre barrière d'étanchéité à l'eau, à l'air et au vent. Les éléments de remplissage ne sont donc pas plaqués contre la structure porteuse mais montés de l'extérieur. En matière de performance énergétique, une double peau ventilée et occultée est le complément parfait d'une façade VEP. Elle améliore grandement le bilan thermique d'un bâtiment en réduisant sa consommation de chauffage en hiver et son besoin de climatiser en été (fonction de volume tampon). Ce bénéfice passe par l'utilisation de systèmes de ventilation intégrés voire de stores vénitiens placés entre la paroi intérieure et la paroi extérieure de la façade vitrée.

#### **III.2 Le double vitrage, la référence en matière de vitrage:**

Le double vitrage correspond à un élément d'isolation sous forme de système de vitrage, composé de deux vitres d'épaisseurs égales ou différentes, superposées, et au milieu desquels on injecte une lame d'air ou de gaz spécial pour renforcer ses propriétés physiques et thermiques. Plus que l'épaisseur et la nature des deux vitres, ce sont l'épaisseur de la lame intermédiaire et la nature du gaz injecté qui en déterminent en grande partie les performances thermiques et acoustiques.

Le double vitrage le plus courant sur le marché est communément appelé 6/16/6. Les deux chiffres 6 indiquent l'épaisseur en millimètres des deux vitres de la face intérieure et extérieure, la valeur 16 précise l'épaisseur de la lame d'air ou de gaz. Certains doubles vitrages, en plus d'utiliser du gaz spécifique – argon ou krypton –, sont renforcés par une fine couche métallique transparente fixée sur l'une des vitres. Au total, 5 grandes catégories de double vitrage sont disponibles sur le marché, dont le double vitrage standard, le double vitrage à faible émission, le double-vitrage à faible émission renforcé avec du gaz argon, le vitrage anti

## Chapitre III : Choix du mur rideau : (ossature et vitrage)

réfléchissant et la vitre chauffante. Le double vitrage, quel qu'en soit le type, reste toutefois fidèle au principe à l'origine de sa création : améliorer l'isolation thermique et acoustique du logement au niveau des ouvertures.

Le principal avantage du double vitrage réside dans sa capacité à résister aux variations de température à l'extérieur de la maison. Grâce aux propriétés isolantes des verres – mesurées par leur coefficient d'isolation  $K_g$  – et à l'épaisseur de la lame d'air ou de gaz – cette lame d'air possède également un coefficient  $K_g$  très élevé —, le double vitrage protège les résidents contre le froid et les trop fortes augmentations de chaleur. Plus le coefficient  $K_g$  combiné des verres et de la lame d'air est faible, plus le double vitrage est résistant aux échanges de température entre l'extérieur et l'intérieur d'une habitation. Cet élément contribue en ce sens à réduire les déperditions de chaleur au niveau des fenêtres et des portes-fenêtres – une baisse de 40 % pour un double vitrage standard —, un apport non négligeable dans la réduction de la consommation énergétique globale du logement. Preuve de l'importance du double vitrage dans l'isolation d'une maison, toutes les ouvertures des bâtiments certifiés BBC doivent en disposer. Autres atouts non négligeables, le double vitrage constitue également un excellent isolant phonique et un élément de décoration très design pour les façades.

### III.3 L'isolation thermique et le développement durable :

La définition des exigences de confort hygrothermique et la recherche de dispositions techniques adaptées ne doivent pas perdre de vue la dimension de développement durable, en veillant à :

- Réduire au maximum le recours à des systèmes actifs (c'est-à-dire nécessitent un apport d'énergie),
- Choisir des équipements économes,
- Optimiser les puissances installées,
- Privilégier les ressources locales, dont les énergies renouvelables.
- Considérer dans une analyse multicritère l'impact global écologique pour le choix des produits et systèmes.

Parallèlement, pour assurer une qualité d'air satisfaisante aux occupants, conserver le bâti et permettre le fonctionnement des appareils à combustion en toute sécurité, les locaux doivent être ventilés suivant le principe du <<balayage>>, consistant à introduire de l'air neuf (air provenant de l'extérieur) dans les locaux les moins pollués et à faire circuler ce flux d'air jusqu'aux locaux les plus pollués, ou l'air vicié est extrait vers l'extérieur.

### III.4 L'équilibre thermique d'un local :

Chauffer un local c'est lui fournir une quantité de chaleur qui compense ses pertes vers l'extérieur de manière à amener sa température à un niveau déterminé.

Les pertes du local se produisent à travers les parois et par l'air qui s'échappe par les ouvertures ou leurs interstices. Elles sont d'autant plus importantes que l'écart est élevé entre les températures internes et externes. Elle dépend aussi de l'étanchéité du local à ces déperditions qu'on appelle l'isolation.

## Chapitre IV : Document technique réglementaire D.T.R.C3-2.

### Chapitre IV : Document technique réglementaire D.T.R.C3-2.

#### IV.1 Généralités :

Le document technique réglementaire D.T.R (C3-2) apporte une première réponse aux problèmes liés à la thermique des bâtiments. Il met à la disposition des professionnels des méthodes d'évaluations thermique des logements pour le problème d'hiver.

L'exigence réglementaire sur laquelle s'appuie ce DTR consiste à limiter les déperditions calorifiques des logements en fixant un seuil à ne pas dépasser (appelé déperditions de référence). Le respect de ce seuil permet une économie de 20 à 30% sur la consommation d'énergie pour le chauffage des logements, sans pour autant se réaliser au détriment du confort des utilisateurs.

#### IV.2 Objet de D.T.R.C3-2 et domaine d'application.

Le D.T.R. (C.3-2) a pour objet de fixer les méthodes de :

Détermination des déperditions calorifiques ;

Dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments ; on introduit alors la notion de déperdition de « base » ;

Conception thermique des bâtiments.

#### IV.3 Conventions :

##### a. Conventions de température.

Les conductivités thermiques des matériaux et résistances thermiques des éléments de construction sont définies pour une température de 10°C.

On admet d'ailleurs que la conductivité thermique des matériaux varie peu pour la plage de températures rencontrées dans l'environnement du bâtiment

##### b. Convention d'échanges superficiels.

Par convection et rayonnement, une paroi échange de la chaleur avec les deux milieux séparés par la paroi. Cet échange est pris en compte dans les calculs grâce à un coefficient d'échange dit superficiel noté « h ». Ce coefficient s'exprime en [W /m<sup>2</sup>.°C].

Les résistances thermiques d'échanges superficiels intérieurs,

$i = \frac{1}{hi}$  et extérieur  $re = \frac{1}{he}$  sont données dans le tableau ci-dessous :

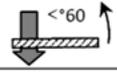
Paroi en contact avec $1/h$ en ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ) Type de paroi ↓	⇒ - l'extérieur. - un passage ouvert. - un local ouvert.			- un local. chauffé ou -non chauffé. - un comble. - un vide sanitaire.		
	$1/h_{ext}$	$1/h_{int}$	$\Sigma$	$1/h_{ext}$	$1/h_{int}$	$\Sigma$
Mur (latéral) 	0,11	0,06	<b>0,17</b>	0,11	0,11	<b>0,22</b>
Toiture (Flux ascendant) 	0,09	0,05	<b>0,14</b>	0,09	0,09	<b>0,18</b>
Plancher (Flux descendant) 	0,17	0,05	<b>0,22</b>	0,17	0,17	<b>0,34</b>

Figure 15 Les résistances d'échanges superficiels.

## Chapitre IV : Document technique réglementaire D.T.R.C3-2.

### IV.4 Méthodologie :

Sur la base du dossier technique, le concepteur doit effectuer les opérations suivantes :

- Définir les volumes thermiques ;
- Calculer pour chaque volume thermique les pertes par transmissions et les pertes par renouvellement d'air ;
- Vérifier que les déperditions par transmission du logement sont inférieures aux déperditions de références conformément aux inscriptions D.T.R (C3-2) ;
- Calculer éventuellement les déperditions de base qui expriment les besoins de chauffage

### IV.5 Expressions générales des déperditions.

#### a. Déperditions totales d'un logement.

Les déperditions totales  $D$  pour un logement, contenant plusieurs volumes thermiques sont données par :  $D = \sum D_i [W/°C]$

Où :  $D_i$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions totales du volume  $i$ .

#### b. Déperditions totales d'un volume.

Les déperditions totales  $D_i$  d'un volume  $i$  sont données par :  $D_i = (D_T)_i + (D_R)_i [W/°C]$

Où :

$(D_T)_i$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions par transmission du volume  $i$ ,

$(D_R)_i$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions par renouvellement d'air du volume  $i$ .

## Chapitre IV : Document technique réglementaire D.T.R.C3-2.

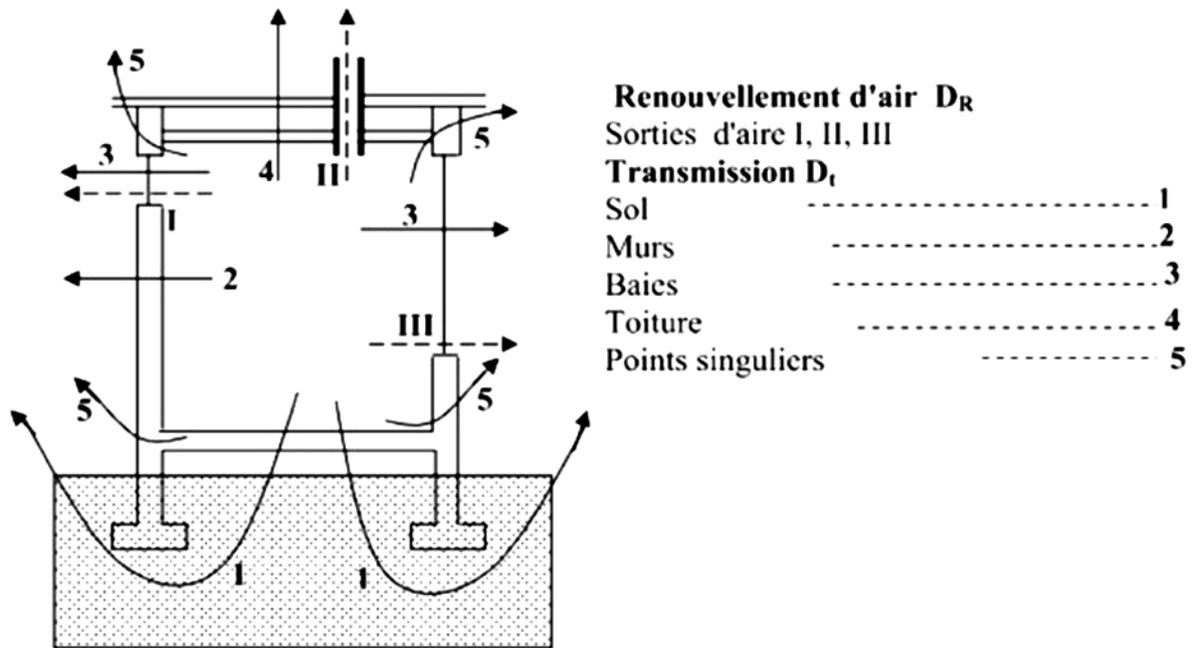


Figure 16 Les différents postes de déperditions

### c. Déperdition par transmission d'un volume.

Les déperditions par transmission  $(DT)_i$  sont données par :

$$(DT)_i = (DS)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{inc})_i \text{ [W/ } ^\circ\text{C]}$$

Où :

$D_s$  (en  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieure

$D_{li}$  (en  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) représente les déperditions à travers les liaisons

$D_{sol}$  (en  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol.

$D_{inc}$  (en  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

### d. Déperdition par renouvellement d'air d'un volume.

Les déperditions par renouvellement d'air d'un volume  $i$   $(DR)_i$  sont donnés par :

$$(DR)_i = (DRV)_i + (DRS)_i \text{ [W/ } ^\circ\text{C]}$$

$DRV$  (en  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) représente les déperditions due au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation.

$DRS$  (en  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) représente les déperditions supplémentaires dues au vent.

## IV.6 Vérification et déperdition de référence :

### a. Vérification réglementaire :

Les déperditions par transmission  $D_t$  du logement doivent vérifier  $D_t \leq 1.5 \times D_{ref}$  [W/  $^\circ\text{C}$ ]

## Chapitre IV : Document technique réglementaire D.T.R.C3-2.

Où :  $D_t$  (en  $W/°C$ ) : représente les déperditions par transmission du logement

$D_{réf}$  (en  $W/°C$ ) : représente les déperditions de référence

### b. Calcul des déperditions de référence :

Les déperditions de référence  $D_{réf}$  sont calculées par la formule suivante :

$$D_{réf} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5 \text{ [W } ^\circ\text{C]}$$

Les  $S_i$  (en  $m^2$ ) représentent les surfaces des parois en contact avec l'extérieur, un comble, un vide sanitaire, un local non chauffé ou le sol. Elles concernent respectivement  $S_1$  la toiture,  $S_2$  le plancher bas, y compris les plancher sur les locaux non chauffés,  $S_3$  les murs,  $S_4$  les portes,  $S_5$  les fenêtres et les portes-fenêtres.  $S_1, S_2, S_3$  sont comptées à l'intérieur des locaux,  $S_4, S_5$  sont comptées en prenant les dimensions du pourtour de l'ouverture dans le mur.

Les coefficients  $a, b, c, d, e$  (en  $w/m^2 \cdot ^\circ C$ ), dépendent de la nature du logement et de la zone climatique. (cf. Annexe 1 du D.T.R).

### IV.7 Calcul des déperditions de base :

#### a. Exigence réglementaire.

Le calcul de la puissance de chauffage d'un logement doit comporter le calcul des déperditions de base selon la méthode décrite dans le DTR. Pour cela, on doit prendre en compte un écart de température entre les ambiances intérieure et extérieure, dit écart de température de base.

#### b. Déperditions de base totales.

Les déperditions de base totales  $D_b$  pour un local, contenant plusieurs volumes thermiques, ont pour expression:

$$D_b = \sum (D_b)_i \text{ [W]}$$

Où :  $(D_b)_i$  (en  $w$ ) représente les déperditions de base pour chaque volume thermique  $i$ .

#### c. Déperditions de base pour un volume

Les déperditions de base pour un volume thermique  $(D_b)_i$  ont pour expression

$$(D_b)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \text{ [W]}$$

Où :

- $D_i$  (en  $w/°C$ ) représente les déperditions totales du volume thermique  $i$  ;
- $t_{bi}$  (en  $°C$ ) est la température intérieure de base du volume considéré;
- $t_{be}$  (en  $°C$ ) est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction

#### e. Température intérieur de base :

La température intérieure de base est la température de l'air que l'on désire obtenir au centre de la pièce en absence de tout apport de chaleur autre que celui fourni par l'installation de chauffage.

## Chapitre IV : Document technique réglementaire D.T.R.C3-2.

Sauf spécifications particulières, on prendra les valeurs suivantes de la température intérieure de base :

- ✓ Immeuble d'habitation, maison individuelle Pièce principale, pièce de service 21°C,
- ✓ Cage d'escalier chauffée, circulation chauffée en continu I 8°C,
- ✓ Bureau chauffé en continu 21°C,
- ✓ Magasin chauffé en continu 21°C,
- ✓ Local artisanal chauffé en continu 21°C.

En effet, par souci d'économie, une installation de chauffage n'est jamais calculée pour assurer le confort optimal pour la température la plus basse de tous les minima annuels.

Le (D.T.R C3-2) introduit une température extérieure de référence, dite température de base. Dans le cas où des locaux ne sont pas chauffés en continu, ils doivent être considérés comme des locaux non chauffés.

### f. Température extérieur de base :

a) La température extérieure de base est une température telle que les températures minimales quotidiennes ne lui sont inférieures que cinq jours par an.

b) La température extérieure de base est fonction de l'altitude et de la zone climatique où est implanté le projet.

c) Le tableau suivant fixe les valeurs de la température extérieure de base :

Zones	Altitude(m)	t <sub>be</sub> (°C)	Zones	Altitude(m)	t <sub>be</sub> (°C)
Zone A	<300	3	Zone C	<300	1
	300 à 450	2		300 à 450	0
	450 à 600	1		450 à 600	-1
	600 à 800	0		600 à 800	-2
	≥ 800	-1,5		≥ 800	-4,5
Zone A1	<300	7	Zone D	<300	4
	300 à 450	6		300 à 450	3
	450 à 600	5		450 à 600	2
	600 à 800	4		600 à 800	1
	≥ 800	2,5		≥ 800	-0,5
Zone B	< 450	-2			
	450 à 600	-3			
	600 à 800	-4			
	≥ 800	-5,5			

Figure 17 Les valeurs de la température extérieure de base

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

### Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

#### V.1 Calcul des Coefficient de transmission surfacique K :

##### Coefficient de transmission surfacique K pour le plancher terrasse vers l'extérieur :

Eléments constitutifs	Epaisseur : e[m]	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m <sup>2</sup> . °C/W]
-Protection en gravillons roulés	0.04	1.2	0.033
- Etanchéité multicouches	0.02	0.23	0.086
- Forme de pente	0.07	1.75	0.04
- Polystyrène expansé	0.04	0.046	0.86
- Plancher en corps creux (20+5)		-	0.140
- Enduit en plâtre	0.015	0.35	0.042
$-\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$			0.17
			$\Sigma R=1.37$

$\Sigma R=1.37$  [m<sup>2</sup>. °C/W] ;  
Donc :  $K=1/R =0.73$  [w/m<sup>2</sup>°C]

##### Coefficient de transmission surfacique K pour le plancher étage courant :

Eléments constitutifs	Epaisseur : e[m]	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m <sup>2</sup> . °C/W]
- Revêtement	0.02	1	0.02
- Mortier	0.02	1.4	0.014
- Plancher en corps creux (20+5)		-	0.140
- Enduit en plâtre	0.015	0.35	0.042
$-\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$		-	0.22
			$\Sigma R=0.43$

$\Sigma R=0.43$  [m<sup>2</sup>. °C/W] ;  
Donc :  $K=1/R =2.29$  [w/m<sup>2</sup>°C]

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

### Coefficient de transmission surfacique K pour murs rideaux :

Eléments constitutifs	Epaisseur : e[m]	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m <sup>2</sup> . °C/W]
-verre	0.006	1	0.006
-argon	0.16	0.017	0.94
-verre	0.006	1	0.006
$-\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$			0.17
			$\Sigma R=1.13$

$\Sigma R=1.13$  [m<sup>2</sup>. °C/W] ;

Donc :  $K=1/R =0.89$  [w/m<sup>2</sup>°C]

Comme la suite des calculs dépend des fournisseurs locaux qui n'ont pas réussi à nous fournir les informations nécessaires alors on va majorer le coefficient de transmission surfacique K de 30% .

$K=1.15$  [w/m<sup>2</sup>°C].

### Coefficient de transmission surfacique K pour mur de façade :

Eléments constitutifs	Epaisseur : e[m]	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m <sup>2</sup> . °C/W]
- brique creuse	0.15		0.30
-lame d'air	0.05		0.160
- brique creuse	0.10		0.20
- enduit plâtre à l'intérieur	0.015		0.042
- mortier bâtard à l'extérieur	0.015	1.15	0.013
$-\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$			0.17
			$\Sigma R=0.885$

$\Sigma R=0.885$  [m<sup>2</sup>. °C/W] ;

Donc :  $K=1/R =1.13$  [w/m<sup>2</sup>°C]

### Coefficient de transmission surfacique K pour mur de séparation intérieure :

Eléments constitutifs	Epaisseur : e[m]	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m <sup>2</sup> . °C/W]
- brique creuse	0.15		0.30
- enduit plâtre à l'intérieur	0.015	0.35	0.042
- mortier bâtard à l'extérieur	0.015	1.15	0.013
			0.22

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

$-\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$			$\Sigma R=0.575$
----------------------------------	--	--	------------------

$\Sigma R=0.575$  [m<sup>2</sup>. °C/W] ;  
 Donc :  $K=1/R =1.74$  [w/m<sup>2</sup>°C]

### Coefficient de transmission surfacique K pour mur de séparation en voile :

Eléments constitutifs	Epaisseur : e[m]	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m <sup>2</sup> . °C/W]
- mortier bâtard	0.02	1.15	0.017
-béton armé	0.15	1.75	0.08
-enduit plâtre	0.02	0.35	0.057
$-\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$			0.22
			$\Sigma R=0.374$

$\Sigma R=0.374$  [m<sup>2</sup>. °C/W] ;  
 Donc :  $K=1/R =2.67$  [w/m<sup>2</sup>°C]

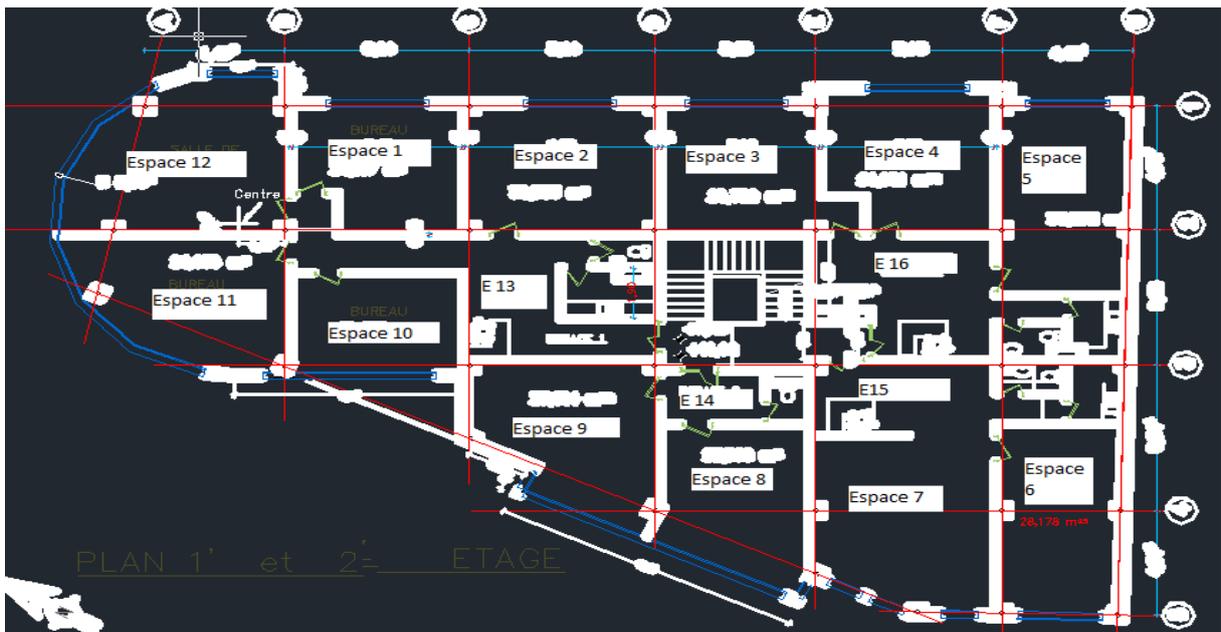
### Coefficient de transmission surfacique K pour les portes :

Portes en bois avec une proportion de vitrage < 30%

Pour les porte donnant sur un local non chauffé  $K=2.4$  [w/m<sup>2</sup>°C]

Pour les porte donnant sur l'extérieur  $K=4$  [w/m<sup>2</sup>°C]

### V.2 Calcul des déperditions :



## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

### Espace 1 :

1 : surface mur extérieur =  $1 \times 3.37 \times 2 = 6.74 \text{ m}^2$

2 : surface mur intérieur donnant sur un local chauffé =  $3.20 \times 3.37 = 10.78 \text{ m}^2$

3 : surface mur intérieur donnant sur un local chauffé =  $4.74 \times 3.37 = 15.97 \text{ m}^2$

4 : surface mur intérieur donnant sur un non local chauffé =  $5.4 \times 3.37 = 18.19 \text{ m}^2$

Vitrage : mur rideau =  $3.9 \times 3.37 = 13.14 \text{ m}^2$

Surface porte :  $3.03 \text{ m}^2$

$D_s = K.S$

		S (m <sup>2</sup> )	K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	6.74	1.13	7.61
	2	10.78	1.74	-
	3	15.97	1.74	-
	4	18.19	1.74	31.56
Vitrage		13.14	1.15	13.96
portes		3.03	2.4	7.27

### Espace 2 :

		S (m <sup>2</sup> )	K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	9.94	1.13	11.23
	2	15.97	1.74	-
	3	15.97	1.74	-
	4	16.85	1.74	29.31
Vitrage		9.94	1.15	11.43
portes		3.03	2.4	7.27

### Espace 3 :

		S (m <sup>2</sup> )	K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	15.97	1.74	-
	2	22.10	1.74	-
	3	15.16	1.74	26.37
Vitrage		16.31	1.15	18.75
portes		3.03	2.4	7.27

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

### Espace 4 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	7.75	1.13	-
	2	22.10	1.74	-
	3	15.97	2.67	-
	4	10.11	1.74	17.59
Vitrage	11.15		1.15	12.82
portes	3.03		2.4	7.27

### Espace 5 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	15.97	2.67	-
	2	17.18	1.74	29.89
Vitrage	12.13		1.15	13.94
portes	3.03		2.4	7.27

### Espace 6 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	19.54	1.74	-
	2	11.35	1.74	19.76
Vitrage	9.94		1.15	11.43
portes	3.03		2.4	7.27

### Espace 7 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	19.54	1.74	-
	2	16.68	1.74	-
	3	10.11	1.90	19.20
Vitrage	12.87		1.15	14.8
portes	3.03		2.4	7.27

### Espace 8 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	13.81	1.74	-
	2	16.68	1.74	-
	3	10.11	1.74	17.59
Vitrage	18.53		1.15	21.30
portes	3.03		2.4	7.27

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

### Espace 9 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	13.74	1.13	15.52
	2	3.03	1.74	5.27
	3	19.88	1.74	34.59
	4	13.81	1.74	-
Vitrage	18.53		1.15	21.30
portes	3.03		2.4	7.27

### Espace 10 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	10.11	1.74	17.59
	2	12.13	2.67	-
	3	14.65	1.74	25.5
Vitrage	18.02		1.15	20.72
portes	3.03		2.4	7.27

### Espace 11 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	16.51	2.67	-
	2	4.71	1.74	-
Vitrage	32.21		1.15	37.04
portes	3.03		2.4	7.27

### Espace 12 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	10.78	1.74	-
	2	16.51	2.67	-
	3	4.71	1.74	-
Vitrage	32.21		1.15	37.04
portes	3.03		2.4	7.27

### Espace 13 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	19.88	1.74	34.59
	2	11.28	1.74	19.62
	3	5.05	1.74	8.87
porte	3.03		2.4	7.27
porte	3.03		2.4	7.27

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

### Espace 14 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	12.13	1.74	21.10
	2	6.57	1.74	11.43
	3	11.12	1.74	19.34
	4	3.37	1.74	5.86
porte	4.71		2.4	11.32
Porte × 2	3.03 × 2		2.4	14.54

### Espace 15 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	8.08	1.74	14.05
	2	13.81	1.74	24.02
	3	4.38	1.74	16.62
	4	10.11	1.9	19.20
porte	4.71		2.4	11.32

### Espace 16 :

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	12.8	1.74	22.25
	2	4.71	1.74	8.19
	3	6.06	1.74	10.54
	4	10.78	1.74	18.75
	5	9.94	1.74	17.28
Porte	4.71		2.4	11.32
Porte × 3	3.03 × 3		2.4	21.81

### Salles de bains : (X3)

	S (m <sup>2</sup> )		K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Murs	1	9.77	1.74	16.99
	2	6.75	1.74	11.74
	3	9.77	1.74	16.96
	4	10.11	1.74	17.59
Porte	3.03		2.4	7.27

### Calcul des déperditions au niveau des planchers :

	S (m <sup>2</sup> )	K (w/m <sup>2</sup> °C)	S.K (w/°C)
Plancher terrasse	261.43	0.7	183.001
Terrasse accessible	208.53	2.59	540.09
Plancher RDC	471.96	2.59	1222.37

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

### Déperdition à travers les parois en contact avec le sol : $D_{sol}$

Les déperditions  $D_{sol}$  pour un plancher bas ou un mur enterré par la formule :

$$D_{sol} = K_s \times P \quad [w//^{\circ}C]$$

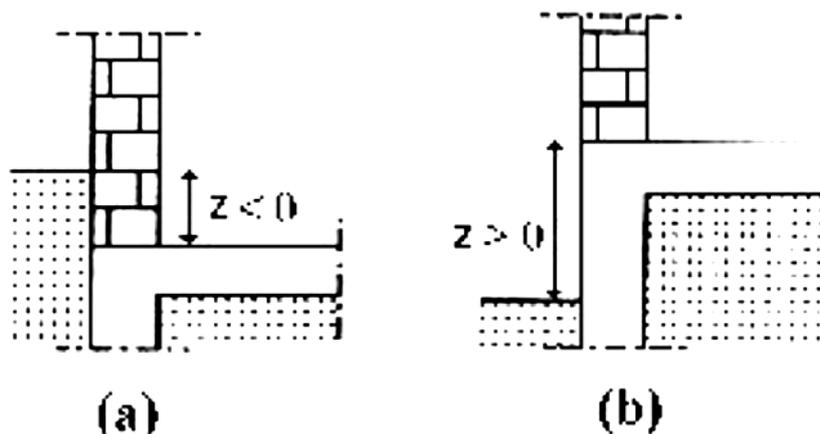
Où :

$K_s$  : (en  $w/m^{\circ}C$ ) est le coefficient de transmission linéique des plancher bas.

$P$  : en (m) est la longueur de la paroi définie chapitre 1 paragraphe 1.3 (DTR)

Cette formule tient compte des déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec le sol, ainsi que des déperditions à travers les ponts thermiques  
Les valeurs des coefficients  $K_s$  sont données en fonction de différence de niveau notée  $Z$

Pour un plancher bas enterré, la différence de niveau est la différence entre le niveau de la face supérieure du plancher et le niveau du sol. Elle est comptée négativement lorsque le plancher est plus bas que le sol (schéma a) est positivement dans le cas contraire (schéma b).



Le tableau donnant les valeurs de  $K_s$  est donné ci-après :

<b>z (en m)</b>	inférieur à - 6.00	de -6.00 à - 4.05	de -4.00 à - 2.55	de -2.50 à - 1.85	de -1.80 à - 1.25	de -1.20 à - 0.75
<b>k (en W/m.°C)</b>	0	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
<b>z (en m)</b>	de - 0.70 à - 0.45	de - 0.40 à - 0.25	de - 0.20 à 0.20	de 0.25 à 0.40	de 0.45 à 1.00	de 1.05 à 1.50
<b>ks (en W/m.°C)</b>	1.20	1.40	1.75	2.10	2.35	2.55

$$D_{sol} = K_s \times P$$

$$D_{sol} = 93.85 \times 0.4 = 37.54 [w//^{\circ}C]$$

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

### V.2 Déperditions surfaciques au niveau des poteaux :

Au niveau des poteaux du mur de façade

$$\sum R = 0.415 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}.$$

$$K = \frac{1}{R} = 2.4 \text{ W/m}^2\text{°C}.$$

$$D_s = 2.4 \times 1.9 \times 16 = 76.8 \text{ W/°C}.$$

Au niveau des poteaux en contact avec les murs de séparation :

$$R = 0.465 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}.$$

$$K = \frac{1}{R} = 2.15 \text{ W/m}^2\text{°C}.$$

$$D_s = 2.15 \times 1.92 \times 15 = 61.92 \text{ W/°C}.$$

### V.3 Déperditions linéique (DL)

Les déperditions a travers une liaison, ou pont thermique,  $D_{li}$  pour une différence de température de 1°C.  $D_{li} = K_{li} \times L$  [W/°C].

Où :

- $K_1$  (en W/m.°C) représente le coefficient de transmission linéique de liaison.
- $L$  (en m) représente la longueur intérieure de liaison.

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

Le totale des déperditions par transmission qu'il est possible d'associer à une paroi  $d_{paroi}$  en [W/°C] est obtenue en effectuant la somme des pertes surfaciques à travers cette paroi avec l'ensemble des pertes linéiques soit  $d_{paroi} = \sum(K \times A) + \sum(K_1 \times L)$ . Dans cette formule  $K$  et  $A$  sont respectivement le coefficient de transmission surfacique en (w/m<sup>2</sup>°C) et la surface intérieure en (m<sup>2</sup>) de chaque élément de paroi,  $K_1$  et  $L$  sont respectivement le coefficient de transmission linéique en (w/m.°C) et la longueur intérieure en (m) de chaque liaison. Parfois, on exprime aussi le total des déperditions en utilisant la notion de coefficient  $K$  global  $K_g$  soit  $d_{paroi} = K_g \times \sum A$  avec  $\sum A$  qui représente la surface intérieure totale de la paroi en (m<sup>2</sup>)  $K_g$  s'exprime en (w/m<sup>2</sup>°C). Le coefficient de transmission surfacique global  $K_g$  d'une paroi est donc égal à :

$$K_g = \frac{\sum(K \times A) + \sum(K_1 \times L)}{\sum A}$$

$$D_{li} = K_{li} \times L$$

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

$$K_{li} = \frac{0.9 \times e}{1.25 \times R_m} = 0.088 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

e: l'épaisseur du mur à isolation répartie.

$R_m$ : (en  $\text{m}^2\cdot\text{C/W}$ ) la résistance thermique du mur à isolation répartie au droit de l'encadrement, résistances superficielles non comprises.

$$D_{li} = 0.088 \times 5.1 \times 21 = 9.42 \text{ W/°C}$$

### Calcul simplifié :

Formulation :

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

$$\sum(K_1 \times L) = 0.20 \sum(K \times A) [\text{W/°C}].$$

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

### V.4 Calcul des déperditions de référence :(Dréf)

Surface	Désignation	Valeurs de calcul [m2]
S2	Plancher bas(y compris plancher sur locaux non chauffés)	469.96
S3	Les murs	624.6
S4	Les portes	63.63
S5	Les fenêtres	40.99

$$D_{ref} = a \times s1 + b \times s2 + c \times s3 + d \times s4 + e \times s4$$

Notre projet est implanté à Oran, donc dans la zone climatique A.

D'où :

Zone	B	c	d	E
A	2.4	1.2	3.5	4.5

$$D_{ref} = 2284.68 \text{ w/c}^\circ$$

### V.5 Déperditions totales :

Espaces	Ds w/c°.	Espaces	Ds w/c°.
<b>1</b>	<b>60.40</b>	<b>10</b>	<b>71.08</b>
<b>2</b>	<b>59.24</b>	<b>11</b>	<b>44.31</b>
<b>3</b>	<b>52.39</b>	<b>12</b>	<b>44.31</b>
<b>4</b>	<b>37.68</b>		
<b>5</b>	<b>51.10</b>		
<b>6</b>	<b>38.46</b>		
<b>7</b>	<b>41.27</b>		
<b>8</b>	<b>46.16</b>		
<b>9</b>	<b>83.95</b>	<b>La somme</b>	<b>630.35</b>

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

### V.6 Calcul des déperditions par renouvellement d'air :

#### Principes :

Le coefficient tau est obtenu en considérant le bilan énergétique du local non chauffé pour cela on écrit l'équation de l'équilibre des flux entre les apports de chaleur provenant directement, ou indirectement des locaux chauffés et les déperditions directes du local non chauffé vers l'extérieur.

#### Formule de calcul :

On va calculer tau dans le cas général espace par espace

Tau est donné par la formule suivante :  $TAU = \frac{t_i - t_n}{t_i - t_e} = \frac{d_e}{d_e - a_c}$

Où :

$t_i$  en (°C) est la température intérieure.

$t_n$  en (°C) est la température de l'espace non chauffé.

$t_e$  en (°C) est la température extérieure.

$d_e$  en (W/°C) représente les apports de chaleur des divers locaux chauffés vers le local non chauffé.

$a_c$  en (W/°C) représente les déperditions du local non chauffé vers l'extérieur.

$$D_{air} = 0,34 \times \tau \times V_h$$

Exemple de calcul de Tau :

$$TAU = \frac{t_i - t_n}{t_i - t_e} = \frac{21 - 16}{21 - 6} = 0.2$$

Espaces	$V_h$	Tau		$D_{air}$
1	81.27	0.2	0.34	5.52
2	101.32	0.2	0.34	6.88
3	88.72	0.2	0.34	6.03
4	84.84	0.2	0.34	5.76
5	100.59	0.2	0.34	6.84
6	94.95	0.2	0.34	6.45
7	119.66	0.2	0.34	8.13
8	76.12	0.2	0.34	5.17
9	95.41	0.2	0.34	6.48
10	62.10	0.2	0.34	4.22
11	81	0.2	0.34	5.50
12	116.36	0.2	0.34	7.91

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

Les déperditions par renouvellement d'air est égale à 74.92 W/°C

**Déperditions totales :**

$$D = D_s + D_1 + D_{\text{air}} = 630.35 + 126.07 + 74.92 + 61.92 + 76.8 = 970.06 \text{ w/}^\circ\text{c}$$

**Vérification réglementaire :**

$$D = 970.06 < 1.05D_{\text{ref}} = 2398.91$$

**Calcul des déperditions après l'utilisation des stores : (primordial pour surfaces vitrées)**

### Limites du calcul

Les parois vitrées dans ce DTR dont les menuiseries sont en bois, ou métalliques, de fabrication courante. Pour tout autre type de menuiserie, on pourra se reporter aux avis techniques les concernant ou à défaut se rapprocher du fabricant :

**Expression générale :**

Le coefficient K des parois vitrées est donné par la formule suivante :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_{Vn}} + r_v + r_{\text{rid}} + r_{\text{occ}} \text{ [m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W]}$$

Où :

$K_{Vn}$  en (W/m<sup>2</sup>.° C) représente le coefficient K du vitrage.

$r_v$  en (m<sup>2</sup>.° C/W) représente la résistance supplémentaire des voilages éventuels :

On adopte  $r_v = 0.025$  (m<sup>2</sup>.° C/W).

$r_{\text{rid}}$  en (m<sup>2</sup>.° C/W) représente la résistance supplémentaire des rideaux éventuel :

On adopte  $r_{\text{rid}} = 0.030$  (m<sup>2</sup>.° C/W).

$r_{\text{occ}}$  en (m<sup>2</sup>.° C/W) représente la résistance supplémentaire des occultation

La résistance des occultations  $r_{\text{occ}}$  est donnée par la formule suivante :

$$r_{\text{occ}} = 0.16 + e_{\text{occ}}/\lambda_{\text{occ}} \text{ [m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W]}$$

Où :

$e_{\text{occ}}$  (en m) représente l'épaisseur de l'occultation.

$\lambda_{\text{occ}}$  en (W/m. °C) représente la conductivité thermique du matériau constituant l'occultation :

## Chapitre V : Application de la méthodologie de D.T.R.C3-2.

les valeurs des conductivité thermique des différents matériaux de construction sont données en annexe 2 (DTR 3-2 thermique).

Les occultations sont les systèmes associés au vitrage dans le but de constituer une isolation thermique nocturne (volets, stores.....)

On opte pour des stores en polychlorures de vinyle d'une épaisseur de 2 mm et une conductivité thermique égale à 0.2 (W/m. °C)

$$r_{occ} = 0.16 + \frac{0.002}{0.2} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

$$\frac{1}{K} = 0.86 + 0.025 + 0.030 + 0.17 = 1.08 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

Le coefficient de transmission  $K = \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$

Espaces	Surface	K	S.K
1	13.14	0.91	11.95
2	9.94	0.91	9.04
3	16.31	0.91	14.84
4	11.15	0.91	10.14
5	12.13	0.91	11.03
6	9.94	0.91	9.04
7	12.87	0.91	11.71
8	18.53	0.91	16.86
9	18.53	0.91	16.86
10	18.02	0.91	16.39
11	32.21	0.91	29.31
12	32.21	0.91	29.31

Déperdition au niveau du mur rideau est égale à 186.48 W/°C

$$D = 582.39 + 116.47 + 74.92 + 61.92 + 76.8 = 912.508 \text{ W/°C} < D_{ref}$$

## Chapitre VI : Calcul de la puissance de chauffage

### Chapitre VI : Calcul de la puissance de chauffage :

#### VI.1 Puissance du chauffage selon le DTR :

Cette puissance est donnée par la formule :

$$Q = (t_{bi} - t_{be}) \times [ [ [1 + \max(c_r ; c_{in}) \times Dt] + [(1 + c_r) \times DR] ] ]$$

Où :

$c_{in}$  (sans dimension) représente un coefficient de surpuissance = 0.10 (chauffage continu),  
 $c_r$  : (sans dimension) est le ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel = 0.10

$t_{bi}$  : [°C] est la température intérieur de base = 21°C

$t_{be}$  : [°C] est la température extérieur de base = 6°C

Ces températures sont données par le D.T.R (C3-2)

D'où :  $Q = (15^\circ\text{C}) \times [ [ [1 + 0.10] \times Dt ] + [(1 + 0.10) \times DR] ]$

$$Q = (15^\circ\text{C}) \times [ [ [1 + 0.10] \times 2114.79 ] + [(1 + 0.10) \times 74.92] ]$$

$$Q = 34976.44\text{W}.$$

C'est un système dimensionné pour permettre de produire une chaleur désirée. Dans le cas d'un bâtiment a usage administratif, on a tendance a utilisé le système suivant :

- chauffage à eau chaude.

#### VI.2 Puissance du chauffage avec le degré jour :

Cette puissance est donnée par la formule :

$$C = 24 \times G \times V_h \times D_j$$

#### VI.3 Coefficients caractérisant les performances énergétiques d'un bâtiment :

G est le coefficient de déperditions volumiques qui s'exprime en  $\text{W}/^\circ\text{Cm}^3$  ; il représente les pertes thermiques d'un bâtiment (par les parois et par renouvellement d'air) pour un degré d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur et par mètre cube habitable.

Le coefficient G permet de déterminer la puissance à fournir dans les locaux pour le chauffage (en kW) des bâtiments :

- très haute performance énergétique ( $G < 0,5$ ) ;
- bien isoler correspondant à la réglementation thermique actuelle ( $0,5 < G < 0,8$ ) ;
- moyennement isolé ( $0,8 < G < 1,4$ ) ;
- mal isolé et/ou à fort renouvellement d'air ( $G > 1,4$  et au-delà).

B est le coefficient de besoins volumiques qui s'exprime en  $\text{W}/^\circ\text{Cm}^3$  ; il prend en compte les déperditions et les apports thermiques solaires et internes.

Le rapport B/G est en général de l'ordre de 70 à 90 % selon l'importance des "apports gratuits". Le coefficient B permet de déterminer les besoins de chauffage (en kWh).

$$\text{Sachant que } G = \frac{\sum D}{V_h}$$

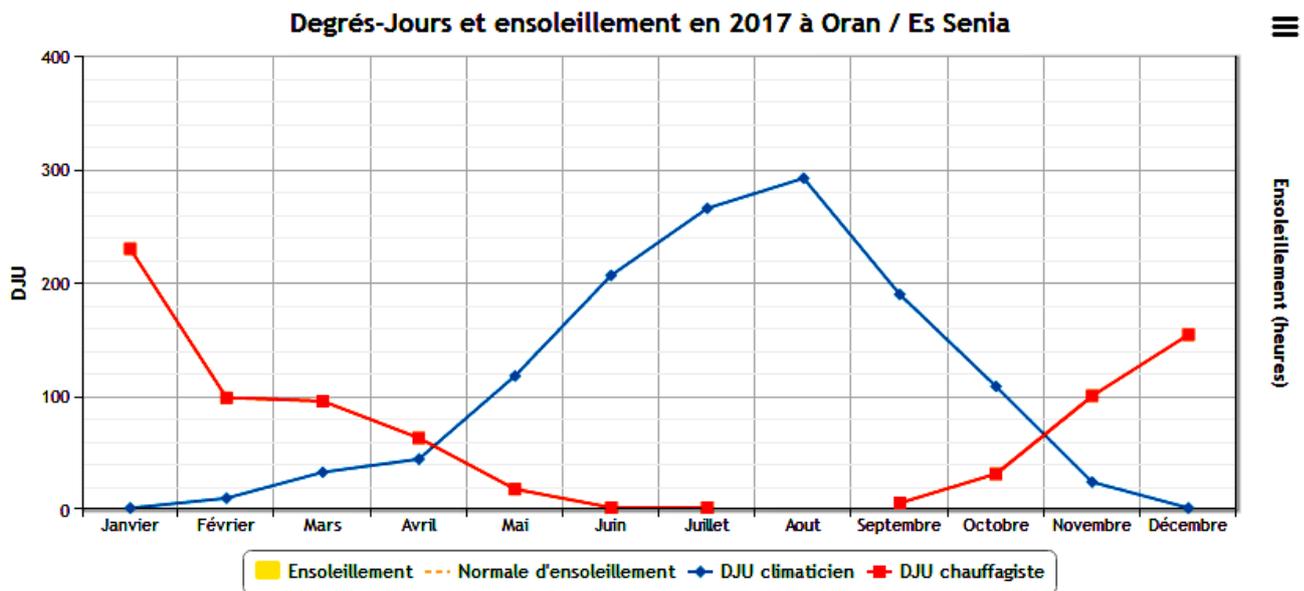
$$G = \frac{912.508}{1102.34} = 0.82 < 2$$

# Chapitre VI : Calcul de la puissance de chauffage

## Calcul de Dj :

	janv 2017	fev 2017	mars 2017	avr 2017	mai 2017	juin 2017	juil 2017	août 2017	sept 2017	oct 2017	nov 2017	dec 2017	Année complète
Tempé. <b>maxi</b> extrême	20,8 le 31	25,5 le 12	31,0 le 3	29,7 le 13	48,9 le 11	42,3 le 25	36,6 le 30	42,5 le 8	34,8 le 9	35,3 le 14	26,4 le 3	19,6 le 10	48,9 le 11 mai
Tempé. <b>maxi</b> moyennes	15,8	19,2	22,3	23,0	26,8	29,6	32,1	32,4	30,0	27,7	22,0	16,9	24,8
Tempé. <b>moy</b> moyennes	10,4	14,7	15,8	17,4	21,2	24,8	26,5	27,4	24,1	20,7	14,7	11,9	19,1
Tempé. <b>mini</b> moyennes	4,9	10,2	9,3	11,7	15,6	20,0	20,9	22,3	18,3	13,4	6,8	6,4	13,3
Tempé. <b>mini</b> extrême	0,5 le 8	3,5 le 9	4,3 le 25	6,6 le 4	11,0 le 2	14,2 le 8	12,5 le 1	18,2 le 23	12,2 le 17	9,2 le 21	2,5 le 18	0,6 le 4	0,5 le 8 janv.
Tempé. <b>maxi</b> minimale	7,3 le 20	14,8 le 19	15,8 le 14	18,2 le 8	22,9 le 3	26,0 le 10	28,4 le 4	25,9 le 30	26,3 le 30	20,5 le 19	15,4 le 10	14,0 le 19	7,3 le 20 janv.
Tempé. <b>mini</b> maximale	10,2 le 11	18,3 le 23	14,0 le 21	15,6 le 19	19,8 le 28	23,9 le 28	24,1 le 15	25,5 le 28	24,6 le 1	19,1 le 3	15,2 le 4	15,0 le 29	25,5 le 28 août
<b>DJU</b> (chauffagiste)	229,5	98,4	95,3	62,8	17,7	1,4	1,2		5,4	31,2	99,8	153,8	796,5 Moy: 66
<b>DJU</b> (climaticien)	0,9	9,6	32,6	44,2	117,5	206,2	265,4	291,9	189,4	108,3	23,8	1,1	1290,9 Moy: 108

Figure 8 récapitulatif des température sur une année, Oran



$$D_j = (T_{int} - T_{ext}) \times \text{nombre de jours}$$

Mois	Dj
Novembre	189
Décembre	282,1
Janvier	328,6
Février	182,7
Mars	161,2
Avril	108
<b>La somme= 1251,6</b>	

## Chapitre VI : Calcul de la puissance de chauffage

Mois	Dj
Juin	-114
Juillet	-170.5
Aout	-198.4
Septembre	-93
<b>La somme= -575.9</b>	

Le besoin en chauffage à 21° est :

$$C = 24 \times 0.82 \times 1251.6 \times 1102.34 = 27152.27 \text{ KWh}$$

Le besoin en climatisation à 21° est :

$$C = 24 \times 0.82 \times 575.9 \times 1102.34 = 12493.60 \text{ KWh}$$

Nous remarquons à partir des calculs effectués que la puissance de chauffage donnée par le DTR est plus importante que celle calculée avec le degré jour.

En réalité le calcul de puissance de chauffage et d'air conditionné (surtout pour ce type de structure) intègre les apports extérieurs et les apports internes du bâtiment qui auront une influence considérable sur l'estimation des puissances chauffage et d'air conditionné.

Le calcul étant très complexe, nous avons pris connaissance de certaines lois du DTR C-34 climatisation, qui restent peu précises et assez standards (exemple pour le cas de notre vitrage nous n'avons pas retrouvé le facteur solaire sur ce dernier).

### VI.4 Les apports calorifiques :

Les apports calorifiques (appelés aussi gains) d'un local sont égaux à la somme des apports de chaleur sensible et latente, provenant d'une source intérieure ou extérieure du local, pour des conditions extérieures et intérieures déterminées, en ne tenant pas compte des apports dus à l'installation.

Les apports calorifiques effectifs sont égaux aux gains du local augmentés, d'une part, des quantités de chaleur correspondant au débit d'air qui passe à travers l'installation sans être affecté, et augmentés, d'autre part, des quantités de chaleur provenant de l'installation elle-même (gains dits supplémentaires : échauffement dans les conduits d'air, fuites d'air éventuelles, etc.).

### VI.5 Apports de chaleur internes :

On désigne par apports de chaleur internes, ou gains internes, les quantités de chaleur dégagées sous forme latente ou sensible à l'intérieur des locaux conditionnés.

Les gains internes prévus par ce DTR sont ceux ayant pour origine les occupants, les machines entraînées par des moteurs électriques, les appareils électriques, l'éclairage, les appareils à gaz, les réservoirs, l'évaporation libre, l'introduction de vapeur vive, les tuyauteries et les conduits d'air intérieurs. Les pièces du marché doivent fournir avec

## Chapitre VI : Calcul de la puissance de chauffage

précision les informations nécessaires pour la prise en compte des apports internes (par exemple le nombre de moteurs électriques, leur emplacement et celui des tuyauteries, etc.).

- **Formule générale**

Les apports de chaleur internes  $AI(t)$  à l'instant  $t$  sont donnés par la formule :

$$AI(t) = \sum_j (CS_j \times AI_{s,j} \times NAI_j) + (\sum (CS_j \times AI_{l,j}) [W] \quad (5.1)$$

où :

- $AI_{s,j}$  (en W) représente la partie sensible de l'apport interne  $j$  ;
- $AI_{l,j}$  (en W) représente la partie latente de l'apport interne  $j$  ;
- $CS_j$  est le coefficient de simultanéité relatif à l'apport interne  $j$  ;
- $NAI_j$  est le coefficient d'amortissement relatif à l'apport interne  $j$ .

Apport	Nature des apports	Coefficient de Simultanéité CS				
		Locaux				
		Bureaux Réunions Accueil	Logement Hébergement	Vente Restauration	Artisanal Industriel	Enseignement
Occupant	Sensible Latent	0,80	0,50	0,80	0,90	1,00
Moteurs électriques	Sensible	0,60	0,50	0,85	0,85	0
Appareils électriques	Sensible Latent	0,60	0,50	0,85	0,85	0
Eclairage fluorescent non encastré	Sensible	0,70	0,35	0,90	0,85	0,90
Eclairage fluorescent encastré, éclairage incandescent non encastré	Sensible	0,70	0,35	0,90	0,85	0,90
Eclairage encastré dans un faux plafond avec plénum de reprise	Sensible	0,70	0,35	0,90	0,85	0,90
Appareil à gaz	Sensible Latent	0	0,50	0,85	0,85	0
Réservoir	Sensible Latent	0	1,00	1,00	1,00	0
Evaporation libre	Latent	0	1,00	1,00	1,00	0
Vapeur vive	Sensible Latent	0	0	1,00	1,00	0
Tuyauteries, conduits d'air	Sensible	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Les apports calorifiques sensibles  $A_s$  et latents  $A_l$  sont donnés par :

$$A_s = APO + AV + AI_s + AINF_s [W]$$

$$A_l = AI_l + AINF_l [W] \quad (1.2)$$

## Chapitre VI : Calcul de la puissance de chauffage

où :

- APO (en W) représente les apports par les parois opaques,
- AV (en W) représente les apports à travers les parois vitrées,
- AIs et AI1 (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports internes,
- AINFs et AINF1 (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports dus aux infiltrations d'air.

Les apports calorifiques effectifs sensibles AEs et latents AE1 sont donnés par :

$$AEs = (C_{\Delta as} \times As) + (BF \times ARENs) [W]$$

$$AE1 = (C_{\Delta a1} \times A1) + (BF \times AREN1) [W]$$

où :

- As (en W) représente les gains sensibles,
- A1 (en W) représente les gains latents,
- ARENs et AREN1 (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports dus à la ventilation des locaux,
- BF ou facteur de by-pass exprime la partie de l'air extérieur (air neuf) non traité par l'installation de climatisation (imperfection de l'appareil de traitement), et qui parvient au local sans modifications.

La valeur de BF représente une caractéristique de l'équipement donnée dans les catalogues des constructeurs. En l'absence d'informations, on adoptera les valeurs suivantes ;

Types de locaux	Facteur BF
Habitations, locaux à usage d'hébergement	0.30 à 0.50
Locaux à usage d'enseignement, de bureaux, de réunion, petits magasins	0.20 à 0.30
Banques, ateliers,	0.10 à 0.20
Lieux de restaurations, grands magasins	0.05 à 0.10
Hôpitaux, salle d'opérations, lieux de stockage, locaux abritant des équipements sensibles	< 0.10

### Facteur BF en fonction du type de local

- **Coefficient d'amortissement :**

Pour la détermination de NAI, par convention, on distingue les quatre types d'apports suivants:

- type I : apports dus à un éclairage fluorescent l'appareil étant non encastré, apports dus aux occupants, apports dus aux appareils électriques ou à gaz, apports dus aux machines entraînées par un moteur électrique, apports dus aux réservoirs, apports dus aux tuyauteries et aux conduits d'air intérieurs ;
- type II : apports dus à un éclairage fluorescent encastré ou incandescent non encastré ;
- type III : apports dus à un éclairage fluorescent ou incandescent encastré dans un faux plafond dans lequel se fait la reprise de l'air du local (luminaires refroidis par air) ;
- type IV : introduction de vapeur vive, évaporation libre.

## Chapitre VI : Calcul de la puissance de chauffage

La valeur de  $NAI(t)$  est déterminée comme indiqué ci-dessous :

- pour les apports de type IV, la valeur de  $NAI(t)$  est égale à 100% ;
- pour les apports de type I, II ou III, la valeur de  $NAI(t)$  est égale à 100% dans le cas où la durée de l'apport interne est supérieure à la durée de fonctionnement de l'installation ;
- pour les apports de type I, II ou III, dans le cas où la durée de l'apport interne est inférieure à la durée de fonctionnement de l'installation, la valeur de  $NAI(t)$  est donnée en fonction :
  - de la durée des apports internes,
  - du nombre d'heures écoulées entre l'heure considérée et le début des apports internes,
  - de la masse  $M$  (en  $kg/m^2$ ) rapportée à la surface de plancher,
  - du type d'apport,
  - de la durée de fonctionnement de l'installation.

### VI.6 Gains dus aux occupants :

Les gains dus aux occupants sont une source de chaleur sensible et latente.

Le calcul doit tenir compte des personnes susceptibles de fréquenter les locaux :

- pour un logement :
  - si une seule zone thermique est définie, le nombre d'occupants par pièce ( $occ/p$ ) à considérer doit être de 2,5  $occ/p$  pour les quatre premières pièces principales, et de 1  $occ/p$  par pièce principale supplémentaire ;
  - si plusieurs zones thermiques sont définies, le nombre d'occupants par pièce à considérer doit être de 2  $occ/p$  pour les pièces principales et les cuisines, et de 1  $occ/p$  pour les pièces de service autres que les cuisines ;
- pour les locaux à usage autre que d'habitation, en l'absence d'informations, on considérera 1 occupant pour 4,5  $m^2$  de surface de plancher.

Les gains internes pour un occupant sont donnés comme suit :

Degré d'activité	Exemple d'application	Température sèche du local (°C)									
		28		27		26		24		21	
		Apports sensibles (Sen) et latents (Lat) en W/pers.									
		Sen	Lat	Sen	Lat	Sen	Lat	Sen	Lat	Sen	Lat
Assis, repos	Classe, salle de spectacle	51	51	57	45	62	40	67	35	76	27
Assis, travail très léger	Logement, bureau, hôtel, amphithéâtre	52	79	58	73	63	69	71	60	83	49
		52	94	58	88	64	83	74	72	85	62
Debout, marche Travail léger	Magasin, accueil Atelier, usine	60	102	66	96	72	91	82	80	93	70
		56	164	64	156	72	148	86	134	107	113
Travail assez pénible	Atelier, usine, salle de sport	79	214	88	205	97	197	112	181	135	158
Travail pénible	Atelier, usine, salle de sport	131	293	136	288	142	283	154	271	177	248

### VI.7 Gains dus aux machines entraînées par un moteur électrique :

## Chapitre VI : Calcul de la puissance de chauffage

Les moteurs électriques et les machines entraînés par ces moteurs constituent des sources de gains sensibles.

Un moteur électrique est caractérisé par :

- une puissance absorbée  $W_a$  exprimée en W ou en kW ; la puissance absorbée peut être déterminée en fonction de la nature du courant,
- une puissance effective (ou nominale)  $W_{eff}$  exprimée en W ou en kW ; cette puissance correspond à la puissance fournie à la machine entraînée ;
- un rendement  $\eta$  qui est le rapport de la puissance fournie à la machine  $W_{eff}$  à la puissance absorbée  $W_a$  par le moteur,
- sa position par rapport au local climatisé.

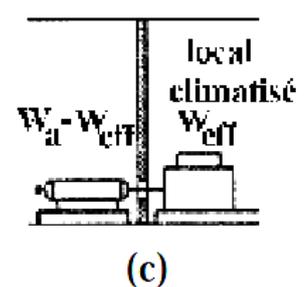
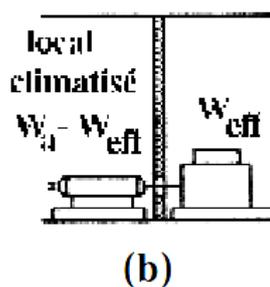
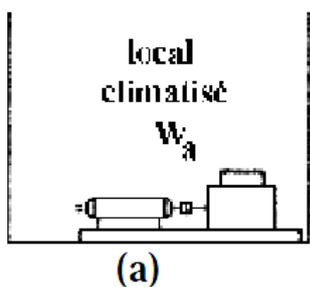
$$\eta = \frac{W_{eff}}{W_a}$$

Nature du courant	$W_a$ (en W) en fonction de : I (en A) l'intensité du courant, U (en V) la tension du courant et de $\cos(\varphi)$ facteur de puissance
Courant continu	$W_a = U \times I$
Courant monophasé	$W_a = U \times I \times \cos(\varphi)$
Courant triphasé	$W_a = U \times I \times \cos(\varphi) \times 1.73$
Courant diphasé (4 fils)	$W_a = U \times I \times \cos(\varphi) \times 2$

### Puissance absorbée du moteur électrique

On distingue les cas suivants:

- le moteur et la machine entraînée sont dans le local climatisé,
- seul le moteur est dans le local climatisé,
- seule la machine entraînée est dans le local climatisé.



### Localisation du moteur électrique

Dans le cas où le moteur et la machine entraînée sont dans le même local climatisé (cas a), toute l'énergie absorbée est dissipée sous forme de chaleur dans le local climatisé. L'apport AI dû à l'ensemble moteur-machine est donné par la formule :

$$AI = W_a = \frac{W_{eff}}{\eta} \quad [W]$$

## Chapitre VI : Calcul de la puissance de chauffage

### VI.6 Gains dus aux machines électriques :

Les appareils peuvent constituer à la fois une source de chaleur sensible et latente, ou seulement une source de gains sensibles.

Une machine électrique utilisée dans un local dégage intégralement l'équivalent calorifique de la puissance électrique moyenne absorbée.

Pour la détermination des apports dus aux machines électriques, on utilisera soit :

- les indications données par le fabricant ;
- les formules du tableau pour le calcul de la puissance absorbée, cette puissance constituant les gains sensibles ; pour certains appareils (de cuisines, de restaurants, etc.), il y a lieu de tenir compte aussi des gains latents ; on pourra alors utiliser les formules relatives aux gains par évaporation ;

Appareils	Gains à admettre (en W)		
	Sens.	Lat.	Total
Machine à écrire	90	-	90
Micro-ordinateur (écran compris)	450	-	450
Mini-ordinateur (les valeurs peuvent varier de 2200 à 6600 W)	4400	-	4400
Imprimante Plus de 5000 lignes/minute	1800	-	1800
	300 à 600 lignes/minute	376	376
Terminal écran	160	-	160
Machine comptable	105	-	105
Photocopieur	100 cop./h	100	100
	200 cop./h	200	200
	500 cop./h	900	900
	1000 cop./h et plus	1800	1800
Machine à tirer des plans	Vitesse de sortie 40 [m/h]	1000	1000
	100 [m/h]	1400	1400
	200 [m/h]	3712	3712
	400 [m/h]	4640	4640
	600 [m/h]	6500	6500
Rétroprojecteur	400	-	400
Plotter	70	-	70
Projecteur de diapositives	300	-	300
Lecteur de microfilm	520	-	520
Lecteur de microfiches	85	-	85

### VI.8 Gains dus à l'éclairage :

Les appareils d'éclairage constituent une source de chaleur sensible.

Si l'on connaît la puissance installée pour l'éclairage, les gains dus à l'éclairage sont donnés par la formule suivante :

## Chapitre VI : Calcul de la puissance de chauffage

$$AI = \sum (W_n \times C_{me} \times C_{cr}) [W]$$

où :

- $W_n$  (en W) est la puissance nominale de l'ampoule ou du tube fluorescent ;
- $C_{me}$  est un coefficient de majoration ; il est égal à :
  - 1,2 pour les lampes à incandescence,
  - 1,25 pour les tubes fluorescents ;
- $C_{cr}$  est le pourcentage de chaleur résiduelle correspondant à la part d'énergie restant dans la salle ;  $C_{cr}$  est :
  - égal à 1 pour les installations dont l'éclairage n'est pas raccordé à un système d'extraction d'air,
  - est donné dans le tableau quand l'éclairage est raccordé à un système d'extraction d'air.

Débit d'air pour 100 W de puissance de lampe ou de tube ( $m^3/h$ )	20	30	50	100
$C_{cr}$	0,6	0,5	0,4	0,35

**Valeurs de  $C_{cr}$**

Si l'on ne connaît pas la puissance installée pour l'éclairage, on calculera les gains dus à l'éclairage en utilisant le tableau suivant :

Désignation du local ou genre d'activité	Intensité lumineuse recommandée (lux)	Puissance dégagée des lampes ou des tubes ( $W/m^2$ )	
		lampes à incandescence	lampes fluorescentes
Entrepôt, pièces d'habitation, théâtre	120	25	8
Bureaux, salle de cours	250	55	16
Salles de lecture, laboratoires, magasins	500	110	32
Montages fins, ateliers, supermarchés	750	170	50
Dessin industriel, grands bureaux, salles d'opération	1000	-	65
Locaux industriels montages très fins	1500	-	100

**Gains dus à l'éclairage**

A partir de cette réglementation, nous constatons que les apports calorifiques peuvent diminuer considérablement la consommation de chauffage en profitant de l'ensoleillement (confort en hiver) mais augmenter la consommation en été de la climatisation (inconfort en été), la solution étant d'intégrer des moyens de protection du rayonnement afin de limiter les apports extérieurs et le calcul fait auparavant conforte l'idée.

## Conclusion générale :

Ce projet nous a permis d'un côté d'assimiler les différentes techniques et logiciels de calcul SAP 2000 ainsi que la réglementation régissant les principes de conception et de calcul des ouvrages dans le domaine du bâtiment aboutissant à l'interprétation des résultats pour aboutir au ferrailage des différents éléments de construction.

Mais d'un autre côté, il nous a permis de connaître un concept de façade légère, en tant qu'enveloppes non porteuses, ayant nécessairement une épaisseur inférieure à celle des murs de maçonnerie.

L'utilisation de ce type d'enveloppe et malgré les nombreux avantages qu'elle offre tel que l'esthétique et la belle vue d'extérieur, implique des conditions de réalisation très techniques et adapté au climat comme le respect des prescriptions de mise en place, la maintenance des vitrage....

Il découle de projet de fin d'études que l'efficacité énergétique de l'enveloppe du bâtiment dépend :

- les matériaux de construction de l'enveloppe;
- l'orientation des vitres du bâtiment ;
- sa zone climatique ;
- l'importance du vitrage dans ses façades.

L'enjeu de cette nouvelle étape est que s'établisse un rapport obligé entre l'aspect de cette enveloppe et les nécessités fonctionnelles et énergétiques. Le principe d'adéquation entre forme et usage doit être poursuivi en concevant des enveloppes qui répondent de façon pertinente aux exigences récentes en matière d'économie d'énergie.

Ce qui explique aussi l'intérêt d'utiliser une enveloppe avec des caractéristiques techniques élevées. Sa implique aussi la réduction de l'utilisation des équipements de chauffage et de climatisations. Vu que le mur-rideau utilise conserve bien la chaleur.

Etant une façade vitrée légère, l'isolation globale tient avant tout à la qualité du vitrage performant. Additionnée aux gains internes (occupants, machines et éclairage), ils suffisent à compenser les pertes en hiver par ciel couvert avec éclairage artificiel ou par ciel dégagé pas d'éclairage artificiel. Par temps plus clément, des protections solaires deviennent indispensables.

L'utilisation d'un store réduit l'apport de chaleur selon les conditions extérieures de température et de rayonnement ;

Les fonctions du verre ne se limitent plus à la transparence, la décoration et l'énergétique, mais doivent aussi répondre a des exigences techniques de sécurité, comme la résistance au vent et aux agressions, et de protection contre la chaleur, le froid, le bruit, le feu, ...

## Bibliographie

[1] CBA93 .C.G.S.

[2] DTR-B.C.2.2« Charges permanentes et charges d'exploitations »

[3] DTR-B.C.2.48 « Règles Parasismique Algériennes » (RPA 99/ version 2003).C.G.S.

[4] D.T.R.C3-2 «Réglementation thermique des bâtiments d'habitation »

[5] D.T.R.C3-4 climatisation

[6] BAEL 91modifié 99 .

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

[8] [http : //www.technal.com](http://www.technal.com)

[9] [http : //www.techno-science.net](http://www.techno-science.net)

[10] [http : //www.historique-meteo.net](http://www.historique-meteo.net)

## Logiciels

SAP 2000 V14.Computer and Structures

Auto CAD 2013. Auto Desk Inc.

RDM6

Microsoft Office word 2007

Microsoft Office Excel 2007.