



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



## Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

### MEMOIRE DE LICENCE (MCIL)

Présenté par :

- *Bouti Faycal*
- *Bouziani Ahmed*

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie Civil

OPTION : Constructions Civiles et Environnement

### Thème

**Etude d'une structure en béton armé  
(R+1) pour une bibliothèque à Djelfa**

Encadré par : Mr Hadj Aissa Yacine

Suivi par :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr. Mourad BENADOUDA	MCB	Président
Mr. Mohammed El amine BOUROUIS	MCB	Examineur
Mr. Yacine HADJ AISSA	MCB	Encadreur

Année Universitaire 2023-2024

## بِسْمِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

أحمد الله عز وجل على منه و عونه لإتمام هذا المشروع

- إلى الشمعة التي أفنت عمرها لحظة بلحظة و هي تكافح من أجل أن يأتي هذا الوقت، إلى التي أضاعت الظلام و حصدت الآلام، إلى من يخفق قلبي لذكراها و تزول همومي ببقاياها و دعاها و يعجز لساني عن شكرها، إلى أحق الناس بصحبتني " أمي الغالية"
  - إلى الذي وهبني كل ما يملك حتى أحقق له آماله، إلى من كان يدفعني قدما نحو الأمام لنيل المبتغى، إلى الإنسان الذي امتلك الإنسانية بكل قوة، إلى الذي سهر على تعليمي بتضحيات جسام مترجمة في تقديسه للعلم، إلى مدرستي الأولى في الحياة ، على قلبي أطل الله في عمره " أبي الغالي"
  - إليهما أهدي هذا العمل المتواضع لكي أدخل على قلبهما شيئا من السعادة إلى إخوتي الذين تقاسموا معي عبء الحياة و إلى كل من يحمل لقب "بوطي".
  - كل أخوالي و خالاتي و إلى جميع أبنائهم دون استثناء و لا أنسى جيرانني الذين لم يبخلوا علي بالعطاء المادي و المعنوي . و إلى زملائي الأعزاء
  - إلى أحب الناس إلى قلبي أطل الله في عمرها : جدتي "رقية"
  - و في الأخير تحية إلى معلمي و أستاذي الذي كان له الفضل فيما وصلت إليه اليوم
- "الأستاذ حاج عيسى ياسين" و إلى كل الأستاذة الذين درسوني من "الطور الأساسي إلى الجامعي" وخاصة أستاذة الهندسة المدنية.
- قال الله تعالى :

﴿ وَلَقَدْ أَوْحَيْنَا إِلَىٰ آلِ الْكَافِرِينَ أَن اسْمِعُوا لَكُمْ قَوْلَ آلِ الْكَافِرِينَ فَسَمِعْتُمُوهُمُ لَوْلَا جَاءَ رَبَّكَ بِالْحَقِّ لَسَبَّ السُّبَّاءُ وَقَدْ آتَيْنَاكَ الْبَيِّنَاتِ لَوْلَا ضَلَّتْ سَاقُكَ بِمَنَافِعِ النَّاسِ لَمَا أَكْبَرْتُمْ هَذِهِ سَبَّاءٌ لَّآلِ الْكَافِرِينَ لَئِن سَأَلْتَهُمْ لَيَقُولُنَّ إِنَّمَا كُنَّا نَسْمَعُ سَمْعَنَا وَنَحْنُ بِذُنُوبٍ قَدِيرِينَ ﴿١٠٠﴾ (الزمر: ١٠٠) ﴾

الطالب : فيصل بوطي

## إهداء

(وآخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين )  
الحمد لله الذي ماتم جهد ولا ختم سعي بفضله,  
الهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك  
ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك... ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك ...  
ولا تطيب الجنة إلا برويتك  
الله جل جلاله

- إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة, ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة ونور  
العالمين سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم  
➤ إلى العظيم أبي ... بعينه رأيت الحياة , وبمبادئه وأخلاقه وصبره على  
مصابه وترسخ في عقليتي وعقيدتي زهد الدنيا واحترامي لنفسي  
ولغيري  
➤ إلى ملاكي في الحياة ... إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والتفاني  
.. إلى بسملة الحياة وسر الوجود إلى من كان دعائها سر نجاحي  
وحنانها بلسم جراحي إلى أعلى الحبايب أمي الحبيبة  
➤ إلى من وهبني الله نعمة وجودهم في حياتي إلى العقد المتين من كانوا  
عوناً لي في حياتي أخي وأختاي  
➤ إلى كل زملائي الأعزاء الذين كانوا عوناً وسنداً ورفقاء لي في رحلتي  
➤ وفي الأخير تحية إلى معلمي وأساتذتي الكرام الذين كان لهم الفضل  
لما وصلت إليه من بداية هذه الرحلة إلى نهايتها.

اللهم اجعل هذا العلم شفيعا لي يوم  
تسألني عن شبابي فيما أفنيته  
وزدني علما ونفعا به .

الطالب :بوزياني أحمد

# Table des matières

## CHAPITRE 01 : Présentation de l'ouvrage et matériaux utilisé

1. Description de l'ouvrage .....	14
2. Description de l'ossature .....	17
3. Construction des planchers .....	17
➤ Plancher à corps creux .....	17
➤ Dalle pleine .....	17
4. Conception des escaliers .....	17
5. Maçonnerie .....	18
6. Revêtements .....	18
7. Normes et Réglementations .....	18
8. Matériaux utilisé .....	18
8.1. Béton .....	18
8.2. Acier .....	22

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul des ferrillages pour des éléments principaux

1. Introduction .....	24
2. Pré dimensionnement des éléments principaux .....	24
2.1. Les planchers .....	24
2.1.1. Plancher en corps creux.....	24
2.1.2. Dimensionnement des poutrelles .....	25
2.2. Poutres.....	26
2.2.1. Poutres principales (pp).....	26
2.2.2. Les poutres secondaires ou chainages (ps) .....	27
2.3. Poteaux .....	27
3. Descentes des charges .....	28
4. Calcul du ferrillage pour les éléments principaux .....	29
4.1 Les poutrelles .....	29
4.2 Les Poutres.....	35
4.3 Les Poteaux.....	40
4.4 Les fondations.....	42

## CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul des ferrillages pour des éléments secondaire

1. L'acrotère .....	46
2. Les Escaliers .....	51

**production de plan**

**Conclusion générale**

**Référence**

## Liste des figures :

---

<b>Figure 1.1</b>	Plan RDC .....	15
<b>Figure 1.2</b>	Plan 1 <sup>er</sup> étage .....	15
<b>Figure 1.3</b>	Façade Principale .....	16
<b>Figure 1.4</b>	Coupe A-A.....	16
<b>Figure 1.5</b>	Diagramme contrainte-déformation à l'ELU .....	21
<b>Figure 1.6</b>	diagramme de contrainte de l'acier .....	23
<b>Figure 2.1</b>	coupe transversale d'un plancher en corps creux .....	25
<b>Figure 2.2</b>	coupe d'une poutrelle .....	25
<b>Figure 2.3</b>	Le poteau le plus sollicité.....	28
<b>Figure 2.4</b>	dimension d'une Poutrelle .....	30
<b>Figure 2.5</b>	Diagramme de moment de Poutrelle ELU.....	31
<b>Figure 2.6</b>	Diagramme de moment de Poutrelle ELS .....	31
<b>Figure 2.7</b>	Diagramme de la force T à la ELU.....	33
<b>Figure 2.8</b>	Disposition des Armatures dans la poutrelle (appui; travée) .....	34
<b>Figure 2.9</b>	Diagramme de Moment Mu ELU .....	35
<b>Figure 2.10</b>	Diagramme de Moment Mser ELS .....	35
<b>Figure 2.11</b>	Ferraillage de poutre principale en Travée et en Appui .....	38
<b>Figure 2.12</b>	Diagramme de la force T à la ELU .....	39
<b>Figure 2.13</b>	Ferraillage de Poteau.....	41
<b>Figure 2.14</b>	Ferraillage de fondations Group 1(fondation de centre) .....	44
<b>Figure 2.15</b>	Ferraillage de fondations Group 2(fondation de rive).....	44
<b>Figure 3.1</b>	Dimension de l'acrotère et les force .....	46

<b>Figure 3.2</b>	Représentation de l'armement .....	49
<b>Figure 3.3</b>	Disposition des Armatures .....	49
<b>Figure 3.4</b>	Schéma des composant d'escalier.....	50
<b>Figure 3.5</b>	Schéma de Paillasse.....	53
<b>Figure 3.6</b>	Ferraillage de Paillasse.....	55
<b>Figure 3.7</b>	Ferraillage de Pallier.....	56
<b>Figure 3.8</b>	Ferraillage d'escalier.....	59

## *LISTE DES SYMBOLES :*

Symbole	Description
<b><i>f<sub>cj</sub></i></b>	<b>Résistance caractéristique a la compression de béton a « j » jour</b>
<b><i>f<sub>tj</sub></i></b>	Résistance caractéristique a la traction de béton a « j » jour
<b><i>f<sub>bc</sub></i></b>	Résistance biaxiale de compression
<b><i>f<sub>bu</sub></i></b>	Contrainte ultime du béton
<b><i>E<sub>ij</sub></i></b>	Module de déformation instantanée
<b><i>E<sub>vj</sub></i></b>	Module de déformation longitudinal différée
<b><i>σ<sub>s</sub></i></b>	Contrainte de calcul de l'acier
<b><i>σ<sub>b</sub></i></b>	Contrainte de calcul du béton
<b><i>γ<sub>b</sub></i></b>	Coefficient de sécurité du béton
<b><i>γ<sub>s</sub></i></b>	Coefficient de sécurité du l'acier
<b><i>ε<sub>s</sub></i></b>	Allongement ou raccourcissement de l'acier
<b><i>τ<sub>u</sub></i></b>	Contrainte admissible de cisaillement
<b><i>∅<sub>t</sub></i></b>	Diamètre des armatures transversales
<b><i>ε<sub>bc</sub></i></b>	Déformation ultime du béton
<b><i>S<sub>t</sub></i></b>	Espacement entre barre transversale
<b><i>l<sub>f</sub></i></b>	Longueur de flambement
<b><i>ε<sub>l</sub></i></b>	Allongement ou raccourcissement limite
<b><i>η</i></b>	Coefficient de fissuration
<b><i>λ</i></b>	Elancement
<b><i>θ</i></b>	Coefficient tenant compte la durée d'application de charge
<b><i>β</i></b>	Coefficient de transfert de cisaillement pour une fissure ouvert
<b><i>E</i></b>	Module d'élasticité
<b><i>i<sub>min</sub></i></b>	Rayon de giration
<b><i>I</i></b>	Moment d'inertie de la section
<b><i>τ</i></b>	Contrainte ultime de cisaillement
<b><i>ν</i></b>	Coefficient de poisson
<b><i>Br</i></b>	Section réduite du poteau
<b><i>A</i></b>	Aire d'une section d'acier.
<b><i>A'</i></b>	Section d'aciers comprimées
<b><i>A<sub>r</sub></i></b>	Section d'un cours d'armature transversal ou d'âme
<b><i>A<sub>ser</sub></i></b>	Section d'aciers pour l'ELS
<b><i>A<sub>u</sub></i></b>	Section d'aciers pour l'ELU
<b><i>B</i></b>	Aire d'une section de béton
<b><i>CV</i></b>	Condition vérifié
<b><i>C n V</i></b>	Condition non vérifié
<b><i>ELS</i></b>	Etat limite de service
<b><i>ELU</i></b>	Etat limite ultime

<b>F</b>	Force ou action générale
<b>G</b>	Action permanente
<b>I</b>	Moment d'inertie
<b>L</b>	Longueur ou portée
<b>M</b>	Moment en général
<b>Ma</b>	Moment sur appui
<b>Mt</b>	Moment en travée
<b>Mu</b>	Moment de calcul ultime
<b>Mser</b>	Moment de calcul de service
<b>Mt</b>	Moment en travée
<b>N</b>	Effort normal
<b>Nu</b>	Effort normal ultime
<b>Nser</b>	Effort normal en service
<b>PP</b>	Poutre principale
<b>PS</b>	Poutre secondaire
<b>Q</b>	Action ou charge variable
<b>S</b>	Section
<b>T</b>	Effort tranchant
<b>h0</b>	Epaisseur d'une membrure de béton
<b>H</b>	Hauteur totale d'une section de béton armé.
<b>J</b>	Nombre de jours
<b>k</b>	Coefficient en général
<b>l</b>	Longueur ou porté

## Résumé

---

Le projet de fin d'études consiste à l'étude d'une bibliothèque à deux niveaux (rez-de-chaussée et étage), située dans la ville d'Ain Oussara, une région classée en zone sismique I selon les règles parasismiques algériennes (RPA99 version 2003). La structure porteuse du bâtiment sera réalisée en béton armé, utilisant un système auto-stable de poteaux-poutres.

Dans un premier temps, le pré dimensionnement de la structure, les descentes de charges et le calcul du ferrailage ont été réalisés manuellement en conformité avec les prescriptions des règlements BAEL 91 révisé 99, RPA99 version 2003 et le DTR. Par la suite, les sollicitations ont été déterminées à l'aide du logiciel Robot Structural Analyses en se basant sur la modélisation de la structure.

À partir des résultats obtenus par la modélisation sur le logiciel, le ferrailage nécessaire pour les éléments principaux et secondaires a été déterminé. Enfin, les plans de ferrailage ont été schématisés à l'aide du logiciel AutoCAD, permettant une visualisation précise de l'agencement du ferrailage dans les éléments structuraux.

---

## *Abstract*

The end-of-studies project involves the analysis of a two-story library (ground floor and upper floor), located in the town of Ain Oussara, a region classified in seismic zone I according to the Algerian parasismic rules (RPA99 version 2003). The building's load-bearing structure will be made of reinforced concrete, using a self-stabilising post-and-beam system.

Initially, the pre-dimensioning of the structure, the load descriptions and the reinforcement calculations were carried out manually, in compliance with the requirements of BAEL 91 revised 99, RPA99 version 2003 and the DTR. The loads were then determined using Robot Structural Analysis software, based on the modelling of the structure.

Using the results obtained from the software modelling, the reinforcement required for the main and secondary elements was determined. Finally, the reinforcement plans were drawn up using AutoCAD software, allowing precise visualisation of the layout of the reinforcement in the structural elements.

## ملخص :

يتضمن مشروع نهاية الدراسات تحليل مكتبة مكونة من طابقين (طابق أرضي وطابق علوي)، تقع في مدينة عين وسارة، وهي منطقة مصنفة في المنطقة الزلزالية الأولى وفقاً لقواعد الزلازل الجزائرية (RPA99 إصدار 2003). سيكون الهيكل الحامل للمبنى مصنوعاً من الخرسانة المسلحة، باستخدام نظام الدعامات والعوارض ذاتية التثبيت.

في البداية، تم إجراء تحديد الأبعاد المسبقة للهيكل، وتوصيف الأحمال وحسابات التسليح يدوياً، وفقاً لمتطلبات BAEL 91 المعدل 99، و RPA99 إصدار 2003 و DTR. ثم تم تحديد الأحمال باستخدام برنامج روبوت للتحليل الإنشائي، استناداً إلى نمذجة الهيكل.

وباستخدام النتائج التي تم الحصول عليها من النمذجة البرمجية، تم تحديد التسليح المطلوب للعناصر الرئيسية والثانوية. وأخيراً، تم رسم مخططات التسليح باستخدام برنامج AutoCAD، مما أتاح تصوراً دقيقاً لتخطيط التسليح في العناصر الإنشائية.

# ***Introduction général***

Le présent mémoire se consacre à l'étude approfondie du dimensionnement et du calcul des ferrailages pour des éléments structuraux principaux et secondaires dans le domaine de la construction. Cette recherche s'inscrit dans le cadre de la conception et de la réalisation d'ouvrages en béton armé, où la robustesse et la durabilité sont des impératifs majeurs.

Dans le premier chapitre, nous procéderons à la présentation détaillée de l'ouvrage ainsi que des matériaux utilisés dans le processus de dimensionnement et de calcul des ferrailages. Cette section posera les bases nécessaires à la compréhension des chapitres suivants, en mettant en lumière les principes fondamentaux de la conception structurale et les normes applicables.

Le deuxième chapitre sera dédié au dimensionnement et au calcul des ferrailages pour les éléments structuraux principaux. Nous explorerons les méthodes et les outils utilisés pour déterminer les charges, analyser les contraintes et concevoir des solutions efficaces, en mettant l'accent sur les éléments tels que les poutres, les dalles, les poteaux et les fondations.

Dans le troisième chapitre, nous aborderons spécifiquement le dimensionnement et le calcul des ferrailages pour les éléments structuraux secondaires. Nous examinerons les particularités et les exigences propres à ces éléments, tels que les escaliers et l'acrotère, en mettant en évidence les considérations spécifiques qui guident leur conception.

En résumé, ce mémoire vise à fournir une analyse approfondie et pratique du dimensionnement et du calcul des ferrailages pour des éléments structuraux variés, afin d'offrir des solutions fiables et durables pour la réalisation d'ouvrages en béton armé.



*CHAPITRE 01 : Présentation de l'ouvrage et  
matériaux utilisé*

### 1. Description de l'ouvrage :

Afin de consolider et mettre à jour nos connaissances théoriques acquises au cours ou lors d'études menées au cours de notre formation dans le domaine du génie civil, nos travaux de fin d'étude porteront sur l'étude d'une bibliothèque (R+1) (rez-de-chaussée plus un étage) en béton armé.

#### ➤ *Situation de l'ouvrage :*

Le site d'implantation est situé dans la wilaya de Djelfa (Ain Oussara) qui est classé comme zone de faible sismicité ; Zone I (RPA 99 version 2003) .

#### ➤ *Dimensions de l'ouvrage :*

L'ouvrage comporte un R.D.C et un étage.

- L'hauteur de R.D.C=3.40 m .
- L'hauteur de l'étage=3.40 m .
- L'hauteur total =6.80 m .
- Longueur totale : 16.15 m



Figure 1.1: Plan RDC

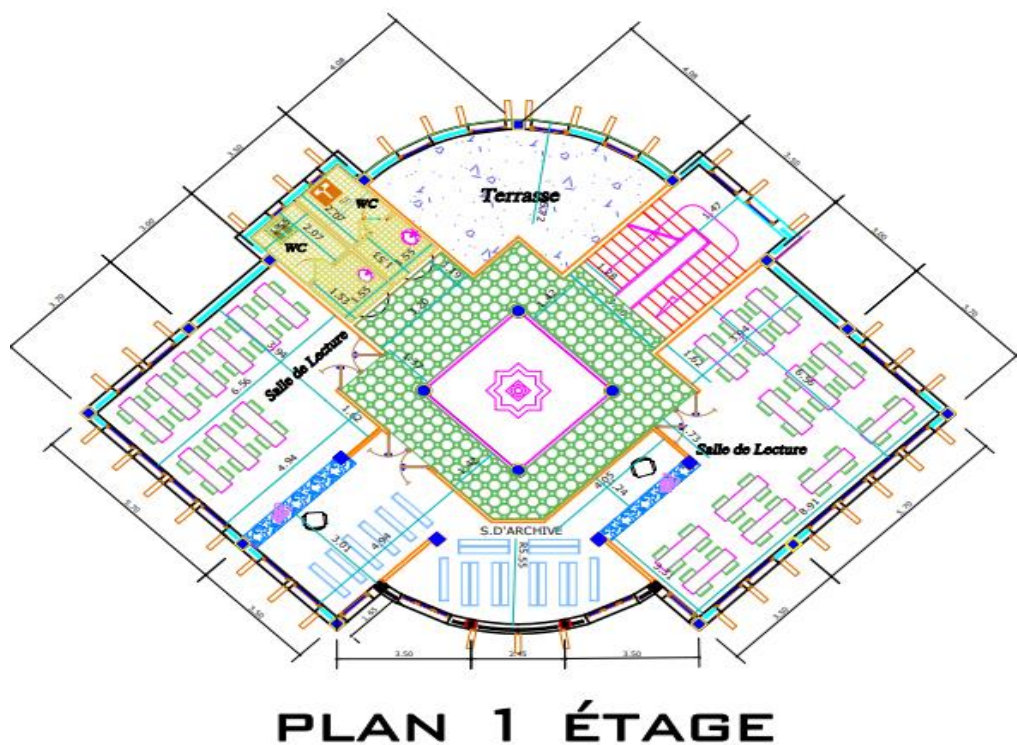


Figure 1.2: Plan 1 étage

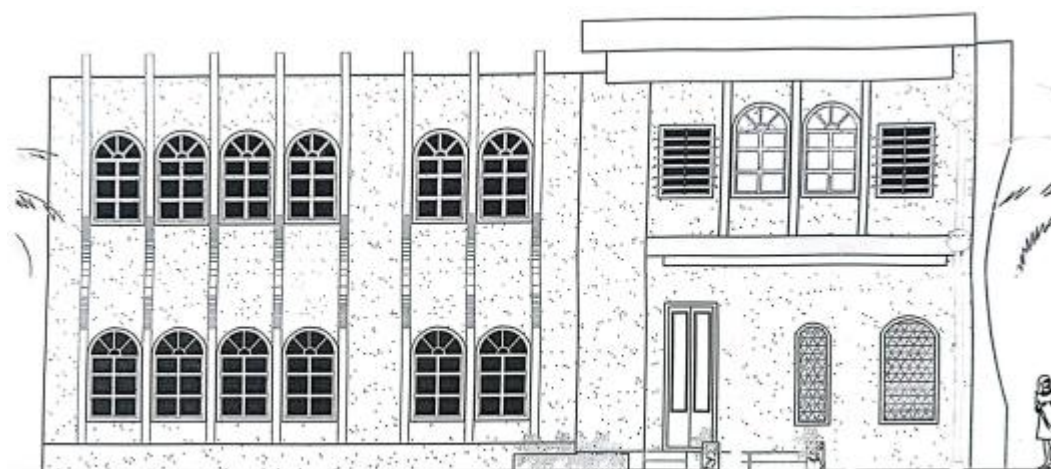


Figure1.3: Façade Principale

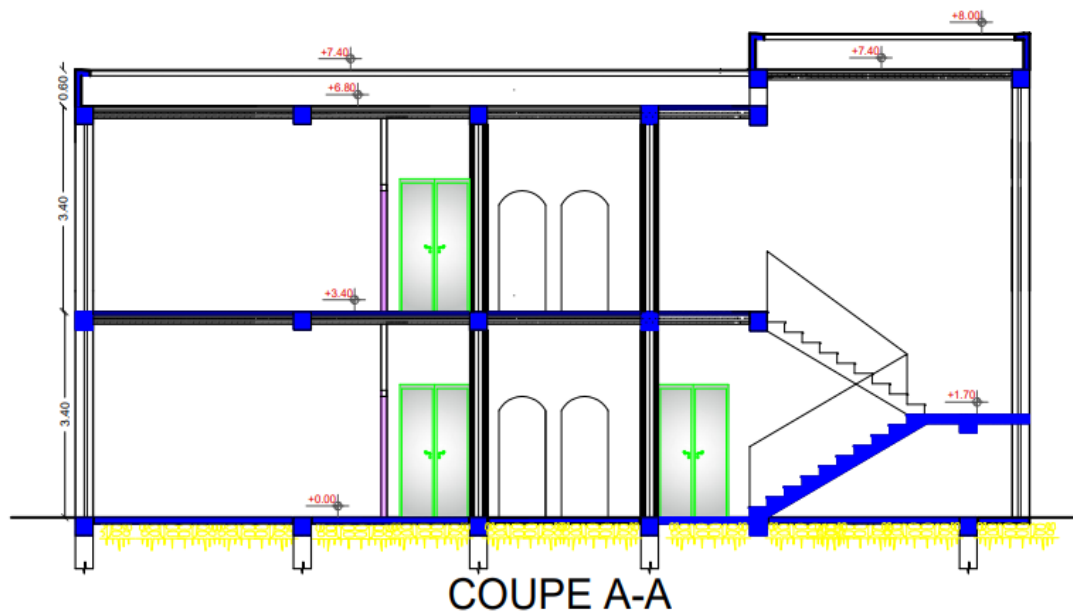


Figure 1.4 :coupe A-A

### 2. Description de l'ossature :

L'ossature auto-stable (poteaux-poutre) est un système de construction couramment utilisé pour les bâtiments de plusieurs étages, les maisons individuelles et les structures commerciales. Elle se compose d'un réseau de poutres horizontales et de poteaux verticaux qui supportent les charges du bâtiment, telles que le poids du toit, des murs, des planchers et des occupants.

### 3. Construction des planchers :

La construction des planchers est une étape importante dans le processus de construction d'un bâtiment. Elle consiste à réaliser des structures horizontales qui séparent les différents niveaux d'un bâtiment et supportent les charges imposées par les occupants, le mobilier, et les équipements. Les planchers doivent également assurer une isolation thermique et acoustique efficace. Voici les deux types de plancher qui peut utiliser dans ce contexte :

- **Plancher à corps creux :** Ce type de plancher est constitué de blocs creux en béton ou en terre cuite, disposés entre des poutrelles en béton armé ou en acier. Les

vides laissés par les blocs creux réduisent le poids total du plancher tout en conservant une bonne résistance mécanique.

- **Dalle pleine** : Une dalle pleine est une plaque de béton armé coulé en place, Offrant une grande robustesse et une excellente isolation acoustique. Elle est utilisée lorsque des charges importantes doivent être supportées ou lorsque des exigences particulières de rigidité doivent être respectées.

### 4. Conception des escaliers :

La conception des escaliers est une étape essentielle dans la construction d'un bâtiment, car elle assure la circulation verticale entre les différents étages. Les escaliers doivent être conçus de manière à être fonctionnels, sûrs et conformes aux normes de construction. Voici une description du type d'escalier utilisé dans ce contexte :

#### Escalier composé de deux volées et un palier de repos :

- **Volées** : Ce terme désigne les parties inclinées de l'escalier. Dans ce type d'escalier, il y a deux volées distinctes, chacune comprenant une série de marches. Les volées permettent de monter d'un niveau à un autre.
- **Palier de repos** : Il s'agit d'une plateforme horizontale située entre les deux volées. Le palier de repos offre un espace pour se reposer et facilite la circulation, notamment en réduisant l'effort nécessaire pour monter ou descendre une longue série de marches d'un seul coup.

### 5. Maçonnerie :

La maçonnerie est réalisée en briques creuses : Les murs extérieurs sont constitués en double parois de briques (10cm et 15cm d'épaisseur) séparés par une lame d'air de 5cm d'épaisseur. Les murs intérieurs sont constitués d'une seule paroi de briques d'épaisseur 10cm.

### 6.Revêtements :

Le revêtement du est constitué par :

- Revêtement murale en carreaux de faïence pour : salles d'eaux
- Revêtement de sol en carreaux de dalle de sol épaisseur 2 cm pour : chambres, hall, salle d'eaux et cuisine
- Revêtement des escaliers en marbre
- Mortier de ciment pour crépissage des façades extérieures
- Mortier de plâtre pour crépissage des façades intérieures

### 7.Normes et Réglementations :

**BAEL91 (Béton Armé aux Etats Limites de 1991)** : Le BAEL91 est un règlement de conception et de calcul des structures en béton armé en France, largement utilisé comme référence en Algérie. Il fixe les critères de dimensionnement pour assurer la sécurité et la durabilité des constructions en béton armé, en se basant sur des états limites de résistance et de service.

**CBA93 (Code de Béton Armé de 1993)** : Le CBA93 est une norme algérienne spécifique pour les structures en béton armé. Elle complète et adapte les règles du BAEL91 aux spécificités locales et aux particularités des constructions en Algérie. Ces normes sont cruciales pour traiter des cas particuliers et marginaux qui peuvent survenir dans la conception des structures en béton armé.

**RPA99 Version 2003 (Règles Parasismiques Algériennes 1999, révisées en 2003)** : Le RPA99 V2003 est un ensemble de réglementations définissant les exigences et les critères pour la conception et la construction de bâtiments résistant aux séismes en Algérie. Cette norme vise à garantir la sécurité des structures et des occupants en cas de tremblements de terre, en établissant des règles de calcul, de conception, et de construction spécifique aux risques sismiques de la région.

**DTR B.C2.2 (Document Technique Réglementaire B.C2.2)** : Le DTR B.C2.2 est une norme algérienne qui définit les charges permanentes (charges statiques constantes comme le poids propre des matériaux de construction) et les charges d'exploitation (charges variables comme le mobilier, les occupants, et l'équipement) à considérer dans le dimensionnement des structures. Ce document est essentiel pour assurer la sécurité et la fiabilité des constructions en tenant compte des différentes charges que les structures doivent supporter tout au long de leur vie.

### **8. Matériaux Utilisé :**

Les propriétés mécaniques des matériaux utilisés dans la construction seront en accord avec les normes techniques de conception et de calcul des structures en béton armé

**8.1 Béton** : Le béton est un matériau de construction composé d'un mélange de granulats, de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants. Il en résulte du durcissement de ce mélange un matériau offrant des résistances importantes.

**a) Ciment** : Le béton utilisé est un béton courant dosé à 350 kg/m<sup>3</sup> à base de ciment CEMII42.5.

**b) Granulats** : Deux types de granulats participent dans la constitution du béton :

- Sable de dimension ( $0 \leq D_s \leq 5$ ) mm
- Gravier de dimension ( $8 \leq D_g \leq 15$ ) mm

**c) Eau de gâchage** : L'eau met en réaction le ciment provoquant ainsi le processus de l'hydratation, elle doit être propre et dépourvue de tous produits pouvant nuire aux caractéristiques mécaniques du béton.

Pour 1m<sup>3</sup> de béton, il faut : -350 kg de ciment -850 kg de Sable -1050 kg de gravier - 175 L d'eau

• **Résistance du béton à la compression :**

Désignée par  $f_{c28}$  (résistance en compression à 28 jours), Pour les éléments principaux le béton doit avoir les résistances  $f_{c28}$  au moins égale à 20 MPa et au plus égale à 30 MPa.

$$\begin{cases} f_{cj} = \frac{j}{4,76+0,83j} f_{c28} : \text{pour } f_{c28} < 40 \text{ MPa} \\ f_{cj} = \frac{j}{1,4+0,95j} f_{c28} \text{ pour } f_{c28} > 40 \text{ MPa} \end{cases} \dots\dots\dots \text{BAEL91}$$

L'étude de notre projet, on prend  $f_{c28}=25\text{MPa}$

• **Résistance à la traction :**

La résistance caractéristique à la traction du béton à j jours, notée  $f_{tj}$ , est

Conventionnellement définie par la relation :

$$f_{tj} = 0,6+0,06f_{cj} \text{ si } f_{c28} \leq 60 \text{ MPa}$$

$$f_{tj} = 0.275f_{cj} \text{ si } f_{c28} > 60 \text{ MPa}$$

Dans notre cas :  $f_{c28}= 25 \text{ MPa}$  Donc :  $f_{t28} = 2,1\text{MPa}$ .

• **Les contraintes limites :**

On distingue deux états limite de calcul :

-État limite ultime (ELU)

-État limite service (ELS)

• **La contrainte de compression à L'ELU :**

$$f_{bu} \frac{0.85*f_{c28}}{\theta*\gamma_b} \dots\dots\dots \text{BAEL91}$$

$\gamma_b$  : Coefficient de sécurité pour le béton tel que :

$\gamma_b = 1.15$  (Situation accidentelle)

$\gamma_b = 1.5$  (Situation courante)

$\theta$  : Coefficient d'application de charge

$\theta = 1$  si  $t > 24h$

$\theta = 0.9$  si  $1h < t < 24h$

$\theta = 0.85$  si  $t < 1h$

• Pour notre cas :  $\theta = 1$  donc  $f_{bu} = 14.17$  MPa

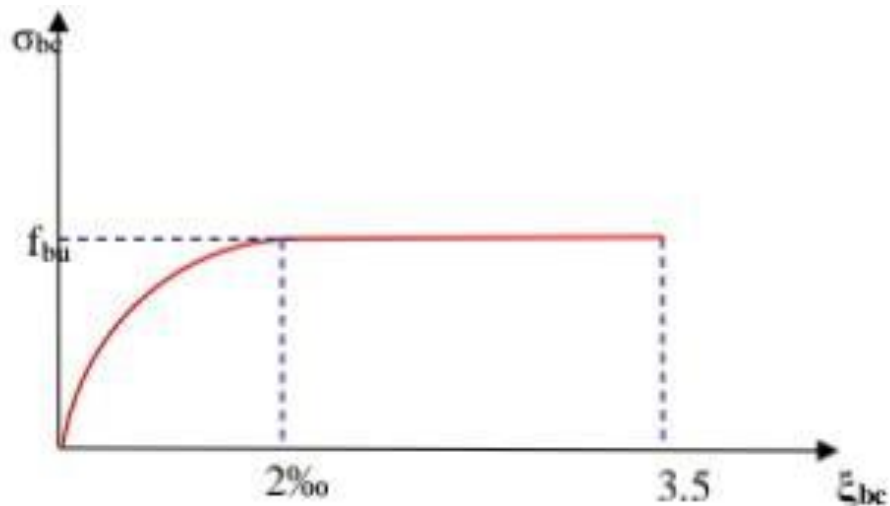


Figure.1.5 : Diagramme contrainte-déformation à l'ELU

### • Contrainte limite de cisaillement :

La contrainte limite de cisaillement est limitée par :

Cas la fissuration est peu préjudiciable

$$\tau = \min(0.2f_{cj}/\gamma_b; 5\text{MPa})$$

Cas ou la fissuration est préjudiciable ou très préjudiciable

$$\tau = \min(0.15f_{cj}/\gamma_b; 4\text{MPa})$$

Cas ou les armatures d'ame sont inclinées à  $45^\circ$

$$\tau = \min(0.27f_{cj}/\gamma_b; 7\text{MPa})$$

### • Module de déformation longitudinale du béton :

Il existe deux modules de déformations :

Inférieur à 24 heures on a :

$$E_{ij}=11000 \nu^3 f_{cj} \text{ donc } E_{i_{28}}=32164.2 \text{ MPa}$$

Le module de déformation différée pour des charges de longue durée d'applications on a :

$$E_{ij} = 3700 \nu^3 f_{cj} \text{ donc } E_{i_{28}}=10818.86 \text{ MPa}$$

• **Coefficient de Poisson** : C'est le rapport entre les déformations transversales et les déformations longitudinales :  $\nu=0.20$  pour le calcul des déformations et  $\nu=0$  pour le calcul des sollicitations

### 8.2 Acier :

L'acier est un matériau qui possède une très bonne résistance à la traction, on peut le classer en trois catégories :

Les ronds lisses FeE215 et FeE235 correspondent à des limites d'élasticité garanties de 215MPa 235MPa respectivement.

Les aciers à haute adhérence FeE400 et FeE500 correspondant à des limites d'élasticité garanties respectivement de 400MPa et 500MPa.

Treillis soudés formés par assemblage des barres treillis soudé

Module d'élasticité longitudinale

Le module d'élasticité longitudinale sera pris égale à :  $E_s=200\ 000 \text{ MPa}$ .

**Contraintes limites de l'acier :**

**Contrainte limite à ELU :**

$\delta s$  : La contrainte limite ultime d'acier est donnée par la formule

$$\delta s = f_e / \gamma_s$$

$\gamma_s$  : Coefficient de sécurité de l'acier

$\gamma_s = 1.15$  en cas de situations durables ou transitoires.

$\gamma_s = 1$  en cas de situations accidentelles.

$f_e = 400 \text{ MPa}$

$\sigma_s = 348$  en situation durable

$\sigma_s = 400$  En situation accidentelle

• **Contrainte limite à ELS :**

Cette contrainte dépend de la nature des fissures dans le béton, on détermine :

Fissuration peu nuisible :

$$\delta s = f e$$

Fissuration préjudiciable :

$$\delta s \leq \min ( 2 \ 3 \ f e ; 110v(\eta ft28)$$

$\eta$  : Coefficient de fissuration

$\eta = 1$  pour les aciers ronds lisses

$\eta = 1.6$  pour les aciers à haute adhérence (HA)

Fissuration très préjudiciable :

$$\delta s \leq \min ( f e \ 2 ; 90v((\eta ft28)$$

$$f t28 = 0.6 + (0.06 \times f c28)$$

$$\epsilon s = f e / \gamma s \times E s$$

$f e$  : Contrainte limite élastique

$\epsilon s$ : Déformation (allongement) relative de l'acier

**Young Coefficient:**

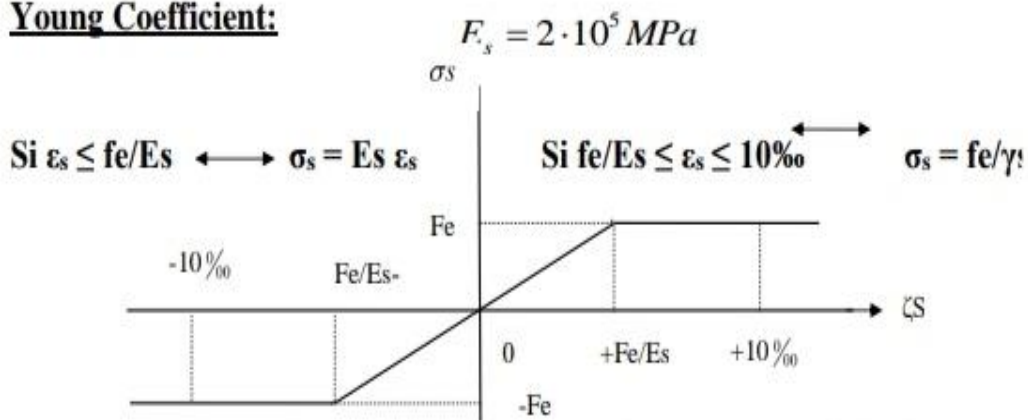
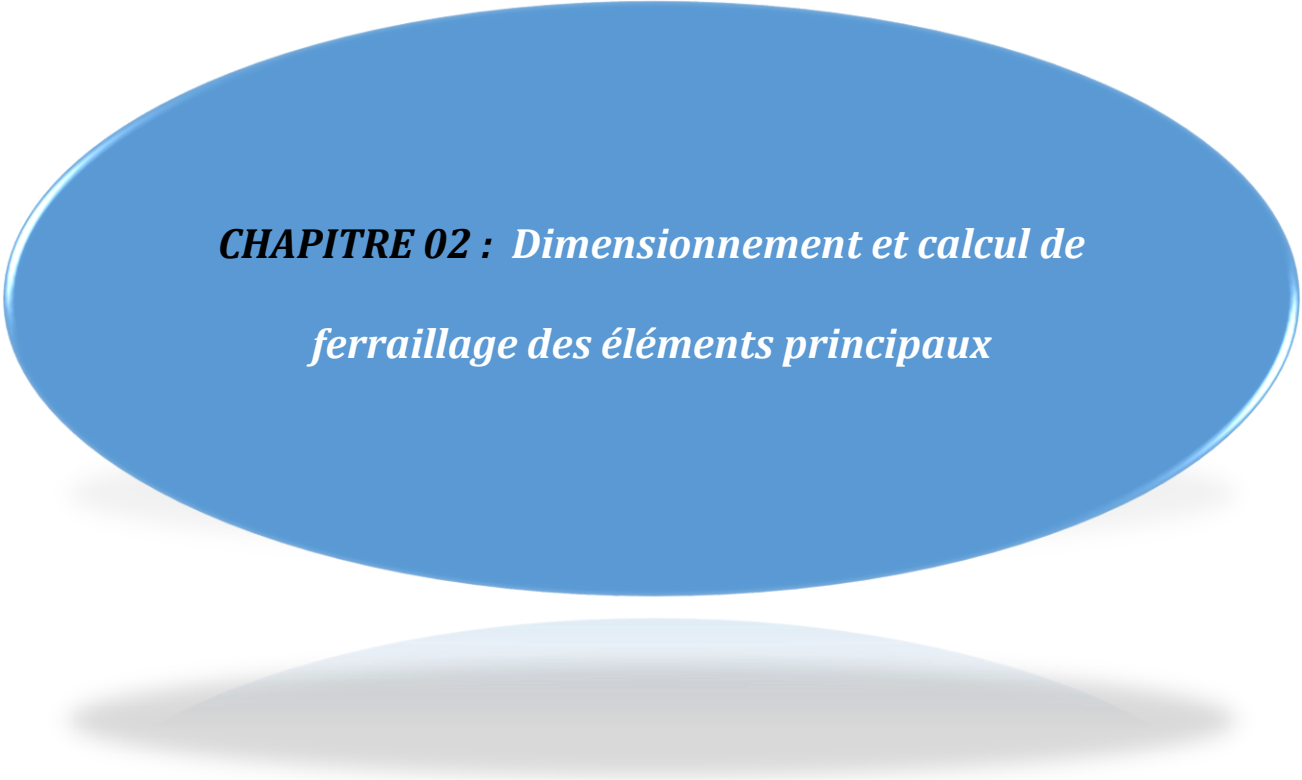


Figure.1.6: Diagramme contraintes-déformations de l'acier



***CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de  
ferrailage des éléments principaux***

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

---

### 1 . Introduction :

Le dimensionnement et le calcul de ferrailage des éléments principaux sont des étapes importantes dans la conception et la construction de structures en béton armé. Cette procédure garantit que les éléments porteurs, tels que les poutres, les poteaux, les dalles et les fondations, peuvent supporter les charges prévues en toute sécurité et sans défaillance.

### 2 .Pré dimensionnement des éléments principaux :

#### 2.1. Les planchers :

##### 2.1.1. Plancher en corps creux :

Les planchers à corps creux sont composés de trois éléments principaux :

- Les corps creux ou "entrevous" qui servent de coffrage perdu.
- Les poutrelles en béton armé qui assure la tenue de l'ensemble et reprennent les efforts de tractions à leur armature.
- Une dalle de compression armée coulée sur les Entrevous qui reprend les efforts de compression.

Le plancher doit être conçu de telle sorte à supporter son poids propre et les surcharges d'exploitations, la hauteur du plancher est donnée par la formule suivante :

(ArtB.6.8.424/BAEL91)

$$H_t \geq \frac{L_{max}}{22,5} .$$

Avec :

**H<sub>t</sub>** : hauteur totale du plancher (épaisseur de la dalle).

**L<sub>max</sub>** : La plus grande portée entre les nus d'appuis dans le sens des poutrelles.

Dans notre cas :  $L_{max} = 570 - 30 = 540$  cm

Nous aurons donc :  $H_t = 24$  cm

Ainsi, on adoptera un plancher de **24cm** d'épaisseur, composé d'un corps creux de **20cm** et d'une dalle de compression de **4cm**.

#### résistance au feu :

$H_t > 15$ cm Condition vérifiée.

#### Isolation phonique :

$H_t > 16$ cm Condition vérifiée.

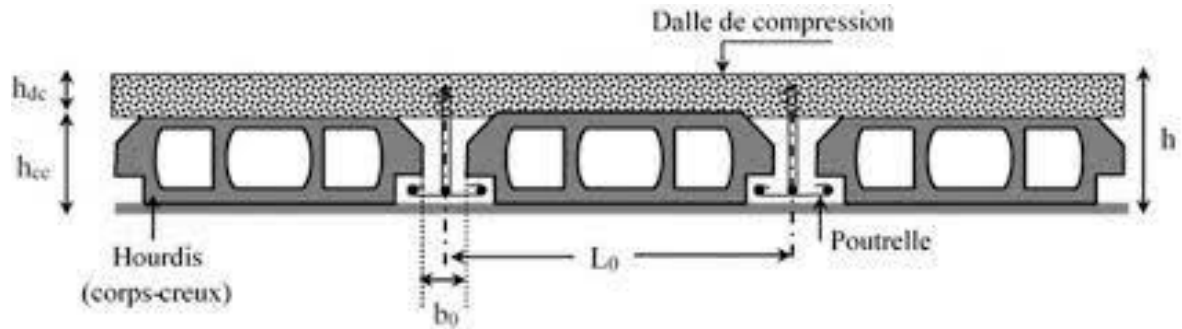


Figure 2.1. coupe transversale d'un plancher en corps creux

### 2.1.2. Dimensionnement des poutrelles :

On définit les poutrelles comme des poutres préfabriquées ou coulées sur place en béton armé ou précontraintes, formant l'ossature d'un plancher. Elles transmettent les charges et surcharges qui les sollicitent sur les traverses des portiques. On les calcule comme des poutres en T (voir Fig. II.2)

Détermination de la largeur de la table de compression :

$$\frac{(b-b_0)}{2} \leq \min\left(\frac{l_x}{2}, \frac{l_y}{10}\right)$$

$b$  : largeur efficace.

$b_0$  : largeur de la poutrelle (généralement  $b_0 = 12 \text{ cm}$ ).

$l_x$  : distance entre nus d'appuis de poutrelles.

$l_y$  : longueur entre nus d'appuis de la travée minimale des poutrelles.

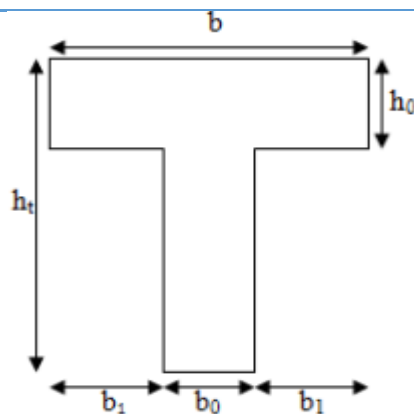


Figure 2.2 : coupe d'une poutrelle.

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

### 2.2 Poutres :

Les poutres, constituées de béton armé, sont des éléments porteurs horizontaux coulés sur place. Leur pré dimensionnement se fait par les règles du **BAEL 99**. Les étapes sont résumées dans ce qui suit :

$$\frac{L_{max}}{15} \leq h \leq \frac{L_{max}}{10}$$

(Art A.4.14 BAEL91)

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

$L_{max}$  : portée maximum entre nus d'appuis dans le sens des poutrelles.  $L_{max}=540$  cm

$h$  : hauteur totale de la poutre

$b$  : largeur de la poutre

#### 2.2.1 Poutres principales (pp): (les poutres porteuses)

Ce sont disposées perpendiculairement aux poutrelles.

$$\frac{540}{15} \leq H_{pp} \leq \frac{540}{10}$$

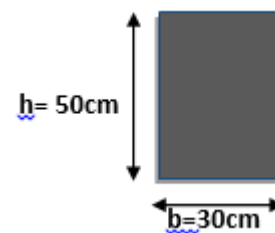
Alors :

$$36 \text{ cm} \leq H_{pp} \leq 54 \text{ cm}$$

$$H_{pp} = 50 \text{ cm}$$

Pour la largeur on prend **30cm** qui correspond à l'épaisseur des murs périphériques en double paroi.

$$PP = (30 \times 50) \text{ cm}^2$$



#### 2.2.2 Les poutres secondaires (chainages) (ps) :

Ce sont disposées parallèlement aux poutrelles.

$$L_{max} = 340 \text{ cm}$$

$$\frac{340}{15} \leq H_{ps} \leq \frac{340}{10}$$

Alors :

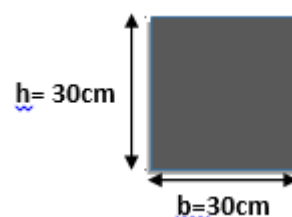
$$22.67 \text{ cm} \leq H_{ps} \leq 34 \text{ cm}$$

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

$H_{ps} = 30 \text{ cm}$

Pour la largeur ont Choisi ;  $b = 30 \text{ cm}$

$$PS = (30 \times 30) \text{ cm}^2$$



Conditions	Poutres principales	Poutres secondaires	Vérification
$h \geq 30 \text{ cm}$	50cm	30cm	vérifier
$b \geq 20 \text{ cm}$	30cm	30cm	Vérifier
$h/b \leq 4$	1.67	1	Vérifier

Tableau 2-1 : Vérification aux exigences de RPA

### 2.3. Poteaux :

Le pré dimensionnement des poteaux consiste à vérifier la capacité portante d'une section choisie, en fonction des sollicitations de calcul en compression simple à l'État Limite Ultime (ELU) ( $1,35G+1,5Q$ ). Les dimensions sont déterminées en descendant les charges du poteau le plus sollicité selon le CBA93. L'effort normal ultime ( $N_u$ ) agissant sur un poteau doit être supérieur à la valeur suivante :  $Br > \frac{N_u}{8,35}$

#### ➤ Evaluation des charges et tableaux : G & Q

- **Détermination du NG** : la charge permanente de la structure est déterminée par la formule suivante :

$$NG = G_{\text{terrasse}} + G_{\text{étage}} + (\text{poids propre du poteau})$$

- **Détermination du NQ** : pour les bâtiments à usage d'habitation R+1 les valeurs de la charge d'exploitation sont déterminé selon les règlements et on n'applique pas la loi de dégression vertical par ce qu'il ya pas de cumulation

### 3.Descentes de charges :

Etanchéité multicouches :

#### A. Plancher terrasse inaccessible :

Protection gravillons (5 cm )	$0.05 \times 10 = 0.5 \text{ KN/m}^2$
Etanchéité multicouche(2cm)	$0.12 \text{ KN/m}^2$
Protection de l'étanchéité par papier Kraft	$0.50 \text{ KN/m}^2$
Forme de pente	$0.10 \times 22 = 2.2 \text{ KN/m}^2$
Isolation thermique (liège)	$0.20 \text{ KN/m}^2$
Filme par vapeur	$0.05 \text{ KN/m}^2$
Filme polyane	$0.05 \text{ KN/m}^2$

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

Dalle en corps creux (20+4)	3.30 KN/ m <sup>2</sup>
Enduit en Plâtre (2cm)	0.24 KN/ m <sup>2</sup>
	<b>G=7.4KN/m<sup>2</sup></b>

Tableau 2.2. : Charge permanente due aux planchers terrasse

### B. Plancher étage courant :

Carrelage (2 cm )	0.02×22=0.44 KN/m <sup>2</sup>
Mortier de pose (2 cm)	0.02×20=0.40 KN/m <sup>2</sup>
Lit de sable (5 cm)	0.05× 15=0.75 KN/m <sup>2</sup>
Cloison légère	0.75 KN/m <sup>2</sup>
Isolation phonique	0.10 KN/m <sup>2</sup>
Plancher ( 20+4 )	3.30 KN/m <sup>2</sup>
Enduit en plâtre ( 2cm )	0.02× 12=0.24 KN/m <sup>2</sup>
	<b>G=5.98 KN/m<sup>2</sup></b>

Tableau 2.3. : Charge permanente due aux planchers courants

On a :

$$f_{c28} = 25\text{MPa}; f_e = 400 \text{ MPa}; H_e = 3,40 \text{ m}; G_t = 7,4 \text{ KN/m}^2; G_e = 5,98 \text{ KN/m}^2;$$

$$Q_t = 1 \text{ KN/m}^2; Q_e = 4 \text{ KN/m}^2$$

Le poteau (E5) le plus sollicité supporte une surface de 12.21 m<sup>2</sup> comme il est indiqué ci-dessous :

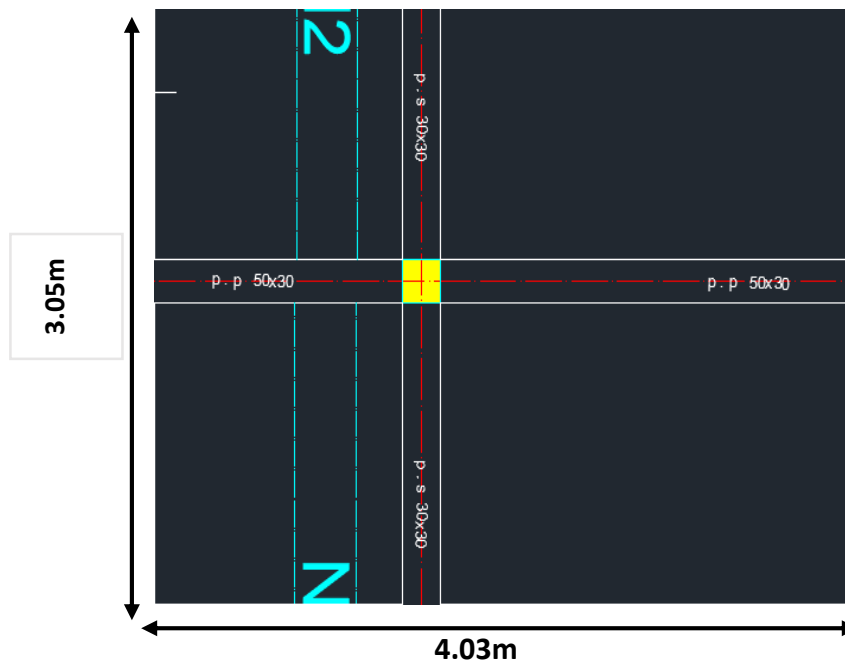


Figure2.3: Le poteau le plus sollicité.

$$G_{\text{terrasse}} = 7,4 \times 12,21 + (0,3 \times 0,3 \times 3,05 \times 25) \text{ chinage} + (0,5 \times 0,3 \times 4,03 \times 25) \text{ pp}$$

$$G_{\text{terrasse}} = 112,32 \text{ KN}$$

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

$$G_{\text{étage}} = 5,98 \times 12,21 + (0,3 \times 0,3 \times 3,05 \times 25) \text{ chinage} + (0,5 \times 0,3 \times 4,03 \times 25) \text{ pp} + (3,40 \times 0,3 \times 0,3 \times 25)$$

$$G_{\text{étage}} = 102,64 \text{ KN}$$

$$Q_{\text{terrasse}} = 1 \times 12,21$$

$$Q_{\text{terrasse}} = 12,21 \text{ KN}$$

$$Q_{\text{étage}} = 4 \times 12,21$$

$$Q_{\text{étage}} = 48,84 \text{ KN}$$

$$Nu_{\text{terrasse}} = 1,35 \times 112,32 + 1,5 \times 12,21$$

$$Nu_{\text{terrasse}} = 169,98 \text{ KN}$$

$$Nu_{\text{étage}} = 1,35 \times 102,64 + 1,5 \times 48,84$$

$$Nu_{\text{étage}} = 211,82 \text{ KN}$$

$$Nu = 381,8 \text{ KN.}$$

Calcul du Br :

$$Br > \frac{Nu}{8,35} = \frac{381,8 \times 10}{8,35} \Rightarrow Br > 457,25 \text{ cm}^2 \text{ d'ou } Br = (a-2)^2$$

Dimensionnement du poteau :

$$a \geq \sqrt{Br} + 2 = \sqrt{457,25} + 2 = 23,38 \text{ cm}$$

$$a \geq 23,36$$

On prend :  $a = 30 \text{ cm}$

$$Br = (a - 0,02) \times (a - 0,02)$$

$$Br = (0,3 - 0,02) \times (0,3 - 0,02)$$

$$Br = 0,28 \times 0,28 \text{ m}^2$$

### 4-Calcul de ferrailage pour les éléments principaux :

#### 4.1. Les poutrelles :

##### 4.1.1. Dimensionnement les poutrelles :

La hauteur des corps creux est de 20 cm, leur longueur de 55cm. La dalle de compression a normalement une épaisseur de 4cm; elle est armée d'un simple quadrillage d'armature constitué en général par nappe de treillis soudé. L'entre-axe des nervures 60 cm.

$$b_0 = 12 \text{ cm}$$

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

La largeur de la nervure est égale à la longueur du corps creux  $L_c=55$  cm ,

$b =60$  cm(entre axes des nervures)  $h_0= 4$  ;  $ht= (20+4)$ cm

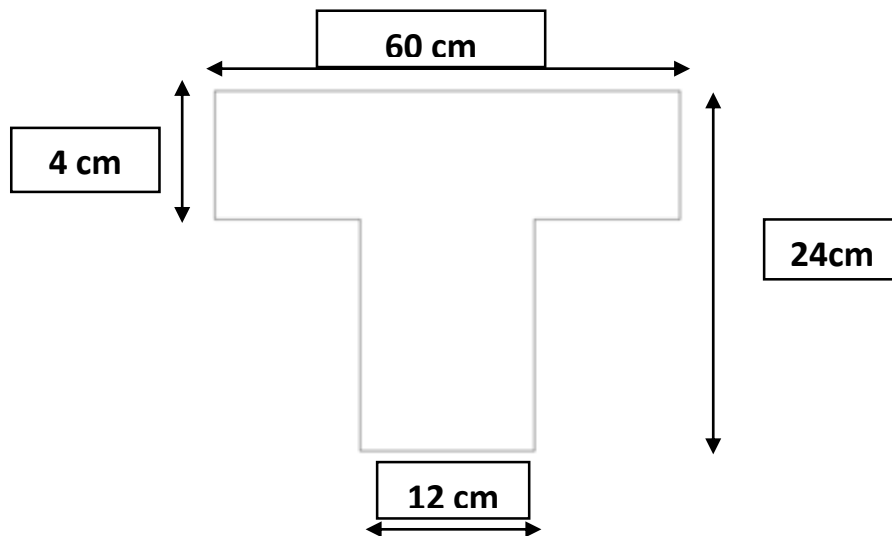
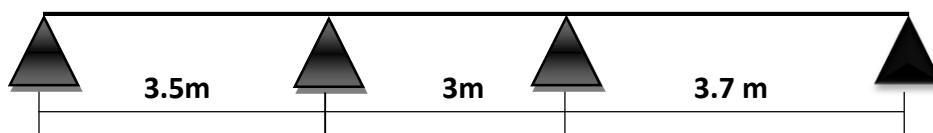


Figure2.4: Dimension d'une Poutrelle.



Dans notre cas poutrelle support une L de 0,6 m

$$GE=5,98 \cdot 0,6$$

$$GE=3,588 \text{ KN/ml}$$

$$QE= 4 \cdot 0,6$$

$$QE=2,4 \text{ KN/ml}$$

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

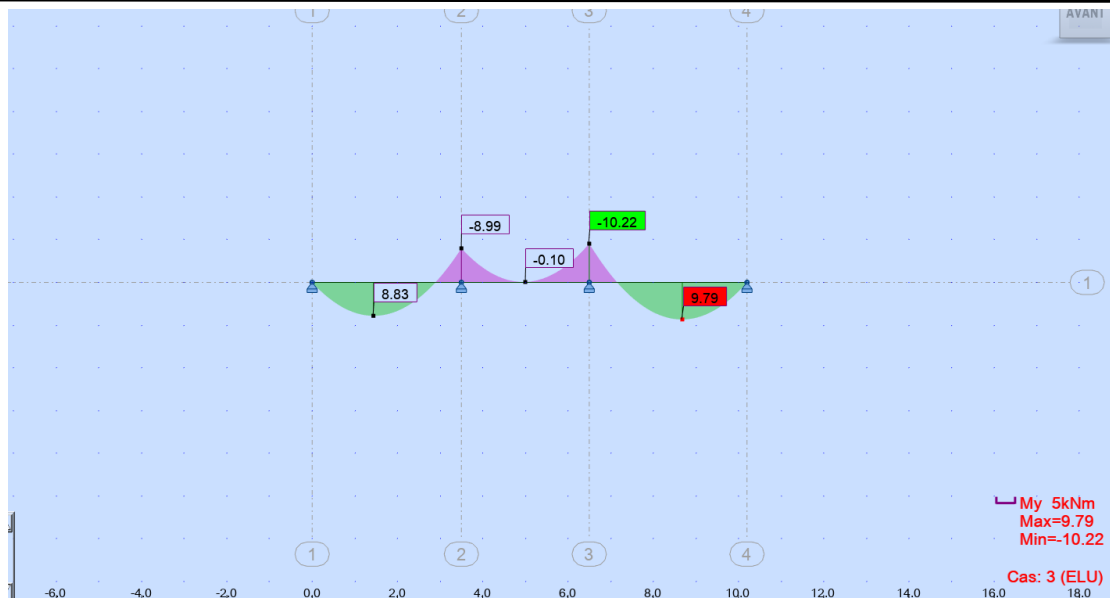


Figure.2.5 : Diagramme de moment de poutrelle ELU

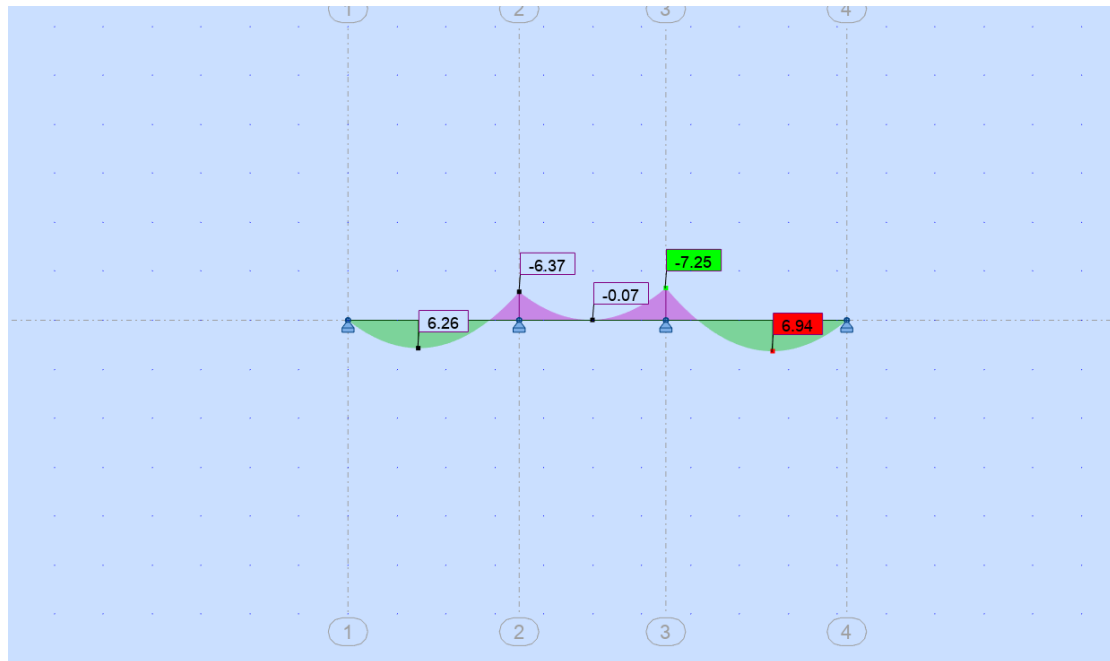


Figure.2.6 : Diagramme de moment de poutrelle ELS

### 4.1.2.ELU :

En travée :

$M=9.79 \text{ KN.m}$

$b = 60 \text{ cm} ; b_0 = 12 \text{ cm} ; h_0 = 4 \text{ cm} ; d = 21.5 \text{ cm} ; c = 2.5 \text{ cm} ; f_{bu} = 14.16 \text{ MPa}$

$$\mu = \frac{M_{\max}}{bd^2 \times f_{bu}} = \frac{9,79 \times 10^{-3}}{0.6 \times 0.215^2 \times 14.16} = 0.024$$

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

$$\mu = 0.024 < \mu_r = 0.392$$

$$\alpha = 0.0304$$

$$\beta = 0.988$$

$$\varepsilon = 0.001$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1.15} = 348 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{M_{\max}}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{9,79 \times 10}{0.988 \times 0.215 \times 348} = 1.32 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix: } \mathbf{3HA10 = 2.36 \text{ cm}^2}$$

Condition de non fragilité :

$$A_{s\min} = 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0.23 \times 60 \times 21.5 \times \frac{2.1}{400} = 1.57 \text{ cm}^2$$

**En appui :**

**M=10.22 KN.m**

$$\mu = \frac{M_{\max}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{10.22 \times 10^{-3}}{0.6 \times 0.215^2 \times 14.16} = 0.026$$

$$\mu = 0.026 < \mu_r = 0.392$$

$$\alpha = 0.0330 ; \quad \beta = 0.987$$

$$A_s = \frac{M_{\max}}{b \times d \times \sigma_s} = \frac{10.22 \times 10}{0.987 \times 0.215 \times 348} = 1.38 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix: } \mathbf{2HA12 = 2.26 \text{ cm}^2}$$

Condition de non fragilité :

$$A_{s\min} = 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0.23 \times 60 \times 21.5 \times \frac{2.1}{400} = 1.57 \text{ cm}^2$$

**Tableau .2.4.** Ferrailage des poutrelles (Travée et Appui) :

Elément	M(KN.m)	b0 (cm)	$\mu$	$\alpha$	$\beta$	Acalc(cm <sup>2</sup> )
Appuis	10,22	21,5	0,026	0,0330	0,987	1,38
Travée	9,79	21,5	0,024	0,0304	0,988	1,32

**4.1.3.ELS :**

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

Ce type de poutrelle est soumis à des fissuration peu nuisibles et par conséquent on ne vérifie que les contraintes dans le béton.

Dans ces conditions, la vérification des contraintes se simplifie comme :

$$\alpha \leq \frac{\gamma - 1}{2} + \frac{f_{c28}}{100} \quad \text{avec} \quad \gamma = \frac{M_u}{M_{ser}}$$

**En travée :**

$$M_u = 9.79 \text{ KN.m}$$

$$M_{ser} = 6.94 \text{ KN.m}$$

$$\gamma = \frac{9.79}{6.94} = 1.41 \rightarrow \alpha \leq \frac{1.41 - 1}{2} + \frac{25}{100} = 0.455 > \alpha = 0.040 \quad c.v$$

**En appui :**

$$M_u = 10.22 \text{ KN.m}$$

$$M_{ser} = 7.25 \text{ KN.m}$$

$$\gamma = \frac{10.22}{7.25} = 1.41 \rightarrow \alpha \leq \frac{1.41 - 1}{2} + \frac{25}{100} = 0.455 > \alpha = 0.053 \quad c.v$$

### 4.1.4. Armatures transversales :

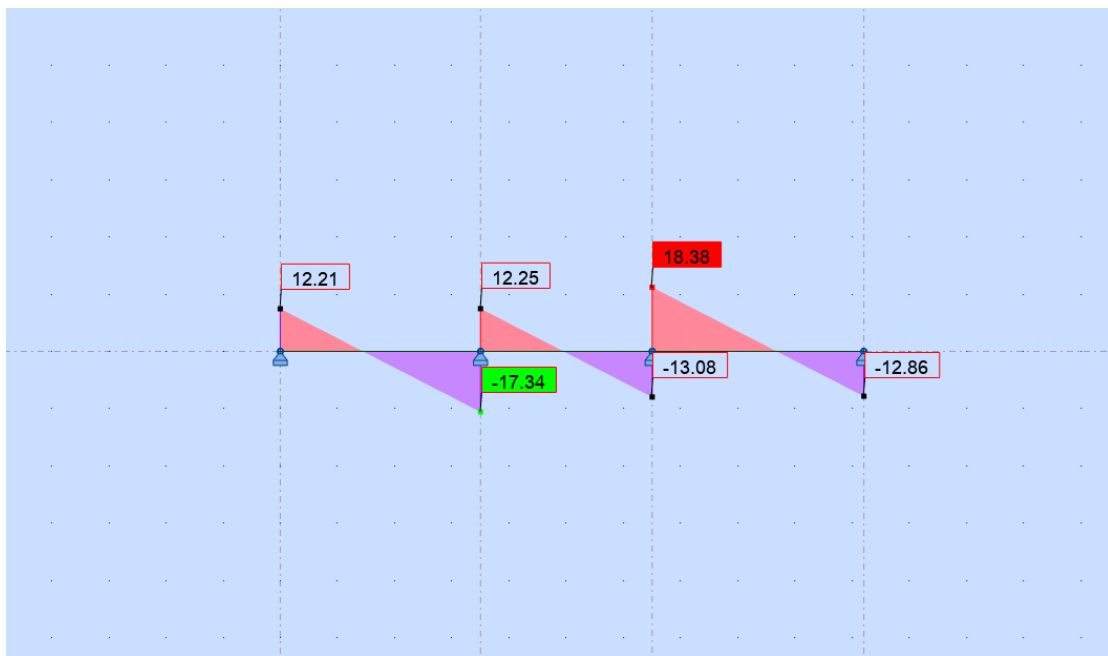


Figure.2.7 :Diagramme de la force T ELU

$$T_u = 18.38 \text{ KN}$$

$$\bar{\tau}_u = \min \left\{ 0,2 \frac{f_{cj}}{\gamma_b} = 3,33 ; 5 \right\} \text{ MPa} = 3,33 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = \frac{T_u}{b_0 \times d} = \frac{18.38 \times 10}{12 \times 21.5} = 0.71 \text{ MPa}$$

Donc :

$\tau_u < \bar{\tau}_u$  calcul vérifié

En travée :

En appui :

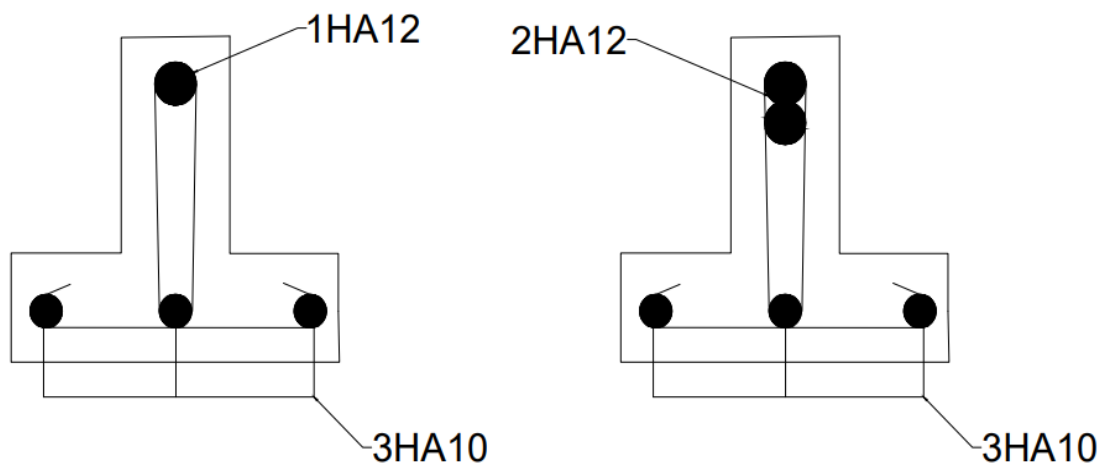


Figure.2.8: disposition des armatures dans la poutrelle (appui; travée)

#### 4.1.5. Diamètre minimal $\phi$ : BAEL91 (A.7.2.2) :

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{h}{35}; \phi_{min}; \frac{b}{10}\right) = (6.86; 10; 12) = 6 \text{ mm}$$

#### 4.1.6. L'espacement des cadres $St$ : BAEL91 (A.5.1, 22) :

$$St1 \leq \min(0.9 \times 21.5; 40) = 19.35 \text{ cm}$$

$$At = \frac{n \times \pi \times 0.6^2}{4} = \frac{2 \times 3.14 \times 0.6^2}{4} = 0.565 \text{ cm}^2$$

$$St2 \leq \frac{0.564 \times 400}{0.4 \times 12} = 47.1 \text{ cm}$$

$$St3 = \frac{0.8 \times 400 \times 0.565 \times (\sin 45 + \cos 45)}{12(1.01 - (0.3 \times 2.1))} = 57.58 \text{ cm} \quad k = 1$$

$$St \leq \min(St1 ; St2 ; St3) = 19.35 \text{ cm}$$

#### 4.2. Les poutres :

Le calcul des poutres se fait en flexion simple en considérant les combinaisons d'action suivantes :

- La combinaison fondamentale :  $\langle 1^{er} \text{ genre} \rangle$  BAEL91  

$$1.35G + 1.5Q \quad \text{ELU}$$

$$G + Q \quad \text{ELS}$$

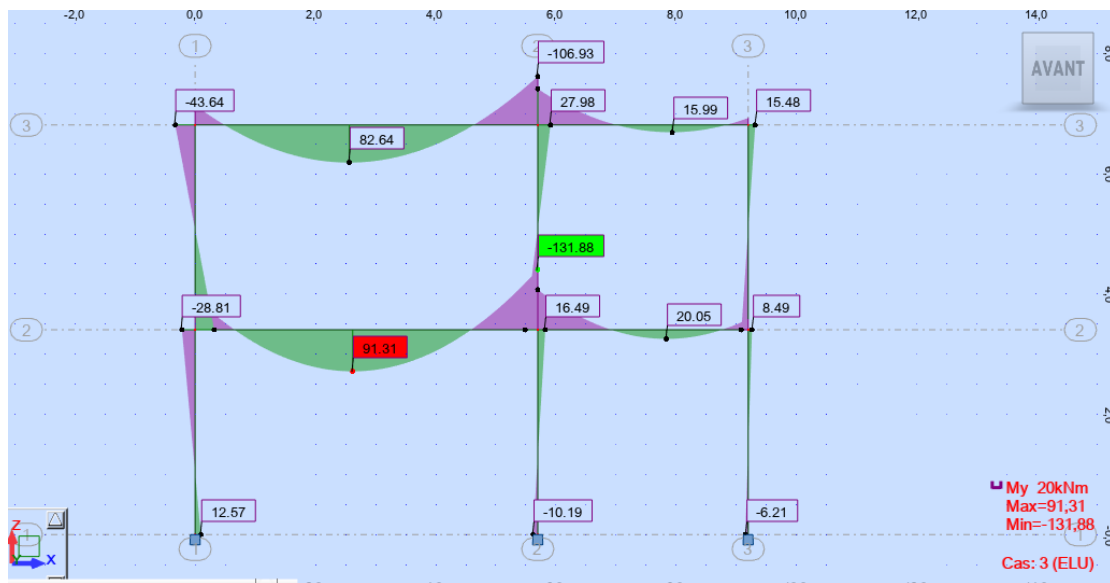


Figure.2.9 : Diagramme des Moments Mu (ELU)

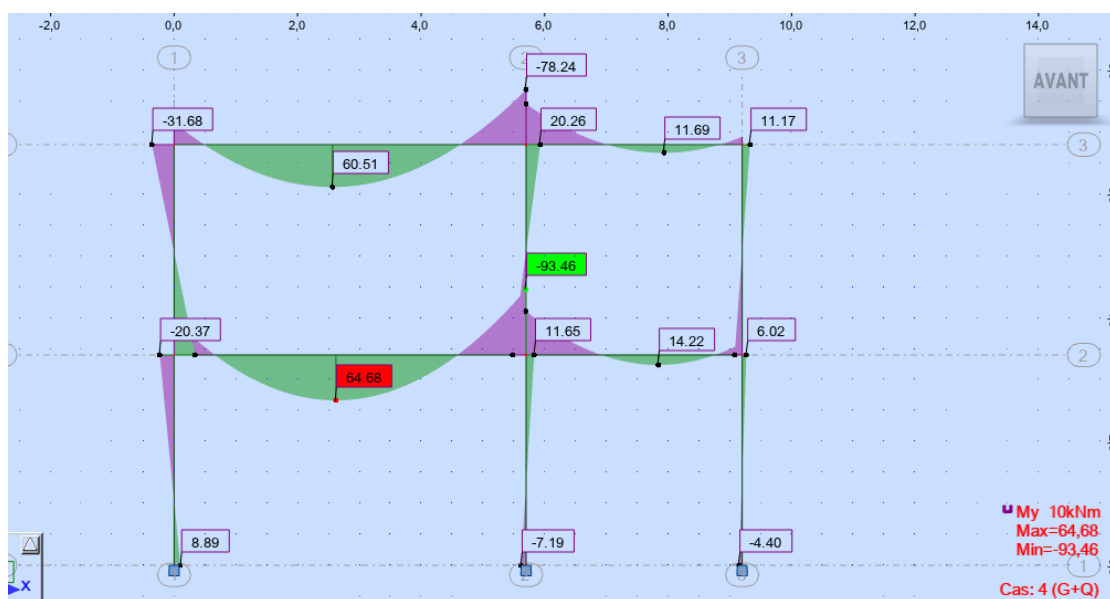


Figure 2.10 : Diagramme de Moment M\_ser (ELS)

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

Etat	Moment max d'appui (KN.m)	Moment max de travée (KN.m)
ELU	131.88	91.31
ELS	93.46	64.46

### 4.2-1-Calcul de ferrailage du poutre principale (30 × 50)cm<sup>2</sup> - Travée :

**ELU :**

$$h = 50 \text{ cm} ; b = 30 \text{ cm} ; c = 2.5 \text{ cm} ; d = 47.5 \text{ cm} ; f_{bu} = 14.16 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_L = 0,733 ; \alpha_L = 0,668 ; \mu_L = 0,392$$

$$\mu = \frac{M_{max}}{bd^2 f_{bu}} = \frac{91.31 \times 10^3}{0.3 \times 0.475^2 \times 14.16 \cdot 10^6} = 0.095$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2(0.095)}) = 0.125$$

$$\beta = 1 - 0.4(0.1275) = 0.95$$

$$\mu = 0,095 \leq \mu_L = 0,392 \text{ donc } A's = 0$$

$$\sigma_{st} = \frac{f_e}{\sigma_s} = \frac{400}{1.15} = 348 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{M_{max}}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{91.31 \times 10}{0.95 \times 0.475 \times 348} = 5.81 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix: } \mathbf{6HA12} = 6.79 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{c28}}{f_e} = 0.23 \times 30 \times 47.5 \times \frac{2.1}{400} = 1.72$$

$$< 5.95 \text{ cm}^2 . \text{ verifier}$$

**ELS :**

$$\sigma_s = \min\left(\frac{3}{2} f_e ; 90 \sqrt{\eta f_{tj}}\right) = \min(600 ; 164.97) = 164.97 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 0.6 f_{c28} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

$$K1 = \frac{\sigma_s}{15 \sigma_{bc}} = \frac{164.97}{15 \times 15} = 0.7332$$

$$\alpha = \frac{1}{1+K1} = \frac{1}{1+0.7332} = 0.576$$

$$\mu_{rb} = \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right) \frac{\alpha}{2} = \left(1 - \frac{0.576}{3}\right) \frac{0.576}{2} = 0.232$$

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

$$M_{rb} = \mu r b b d^2 \sigma_{bc} = 0.232 \times 30 \times 47.5^2 \times 15 \times 10^{-3} = 235.55 \text{ KN.m}$$

$$64.46 < 235.55$$

$$M_{ser} < M_{rb} A_s' = 0$$

$$\mu_1 = \frac{M_{ser}}{b d^2 \sigma_s} = \frac{64.46 \times 10^{-3}}{0.3 \times 0.475^2 \times 164.97} = 0.00577$$

$$\beta_1 = 0.883$$

$$\alpha_1 = 0.351$$

$$K_1 = 27.73$$

$$A_s = \frac{M_{ser}}{\beta_1 \times d \times \sigma_s} = \frac{64.46 \times 10^4}{0.883 \times 47.5^2 \times 164.97} = 1.96 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \max(A_{su}; A_{sfr}; A_{sser}) = 5.95 \text{ cm}^2$$

### 4.2-2-Calcul de ferrailage du poutre principale (30 50) cm<sup>2</sup>

- En appui :

ELU:

$$M_{\text{appui}} = 131.88 \text{ KN.m}$$

$$\mu = \frac{M_{\text{max}}}{b d^2 f_{bu}} = \frac{131.88 \times 10^3}{0.3 \times 0.475^2 \times 14.16 \times 10^6} = 0.137$$

$$\mu = 0,137 \leq \mu_L = 0,392 \text{ donc } A's = 0$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2(0.137)}) = 0.1849$$

$$\beta = 1 - 0.4 \times 0.1849 = 0.926$$

$$\varepsilon = 0.001$$

$$A_s = \frac{M_{\text{max}}}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{131.67 \times 10}{0.915 \times 0.475 \times 348} = 8.71 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix: } 6HA14 = 9.24 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\text{min}} = 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 0.23 \times 30 \times 47.5 \times \frac{2.1}{400} = 1.72 \text{ cm}^2$$

ELS :

$$\sigma_s = 164.97 \text{ MPa} ; \sigma_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

$$K = \frac{\sigma_s}{15 \sigma_{bc}} = \frac{164.97}{15 \times 15} = 0.7332$$

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

$$\alpha = \frac{1}{1+k} = \frac{1}{1+0.7332} = 0.576$$

$$\mu_{rb} = \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right) \frac{\alpha}{2} = \left(1 - \frac{0.576}{3}\right) \frac{0.576}{2} = 0.232$$

$$M_{rb} = \mu_{rb} b d^2 \sigma_{bc} = 0.232 \times 30 \times 47.5^2 \times 15 \times 10^{-3} = 235.55 \text{ KN.m}$$

$$93.46 < 235.55$$

$$M_{ser} < M_{rb} A_s' = 0$$

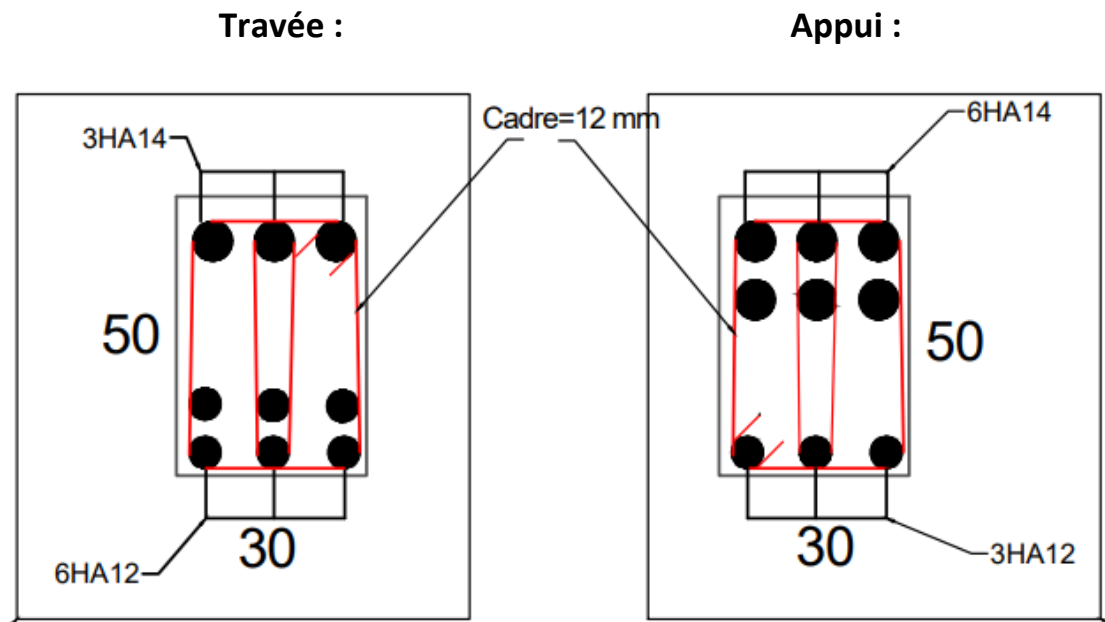
$$\mu_1 = \frac{M_{ser}}{b d^2 \sigma_s} = \frac{93.46 \times 10^{-3}}{0.3 \times 0.475^2 \times 164.97} = 0.00836$$

$$\beta_1 = 0.863$$

$$k_1 = 21.50$$

$$\alpha_1 = 0.411$$

$$A_s = \frac{M_{ser}}{\beta_1 \times d \times \sigma_s} = \frac{93.46 \times 10^4}{0.863 \times 47.5^2 \times 164.97} = 2.90 \text{ cm}^2$$



**Figure.2.11** : Ferrailage de poutre principale en Travée et en Appui.

### 4.2.3. Vérification de l'effort tranchant :

La contrainte de cisaillement : Selon la BAEL 91 (A.5.1.1) :

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

La contrainte tangente :  $\tau_u = \frac{vu}{b_0.d}$

$V_u$  : La valeur de calcul de l'effort tranchant vis-à-vis de ELU

$b_0$ : Désigne de largeur de l'âme

$d$  : La hauteur utile de la nervure.

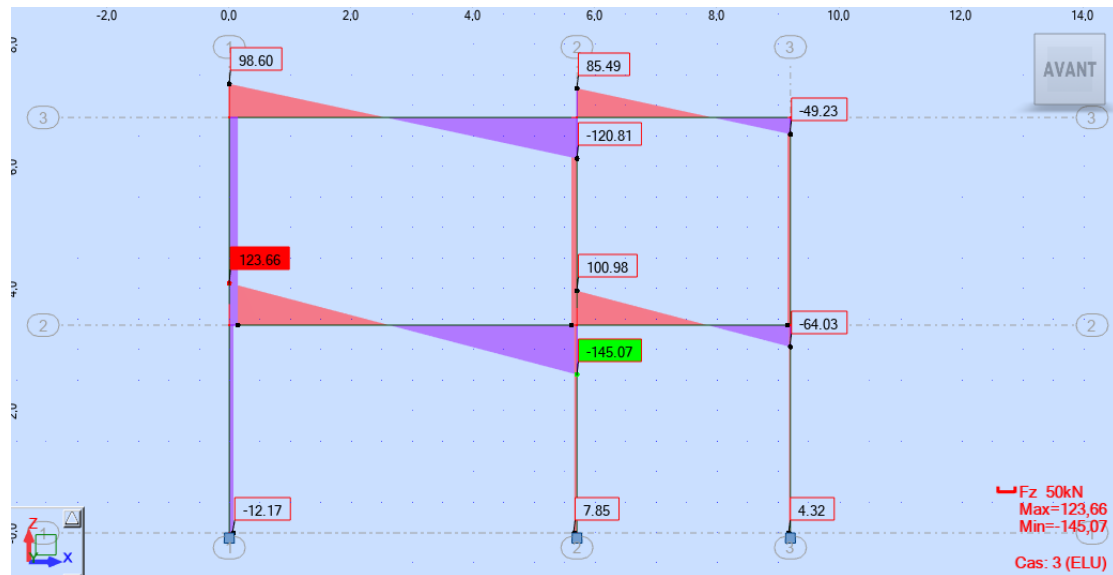


Figure.2.12 :diagramme de la force T ELU

**$V_u = 145.07 \text{ KN}$**

$$\tau_u = \frac{145,07 \times 10^3}{300 \times 475} = 1,02 \text{ MPa}$$

Cette contrainte doit être inférieure ou égale la contraintemissible.

$$\bar{\tau}_u = \min \left\{ 0.2 \frac{f_{cj}}{\gamma_b} = 3,33 ; 5 \right\} \text{MPa} = 3,33 \text{ MPa}$$

Donc :

$$\tau_u < \bar{\tau}_u \text{ calcul vérifié}$$

### 4.2.4. Diamètre des armatures transversales :

$$\phi \leq \min \left[ \frac{h}{35} ; \phi_t \text{ min} ; \frac{b_0}{10} \right] = \min [14.28 ; 12 ; 30] = 12 \text{ mm}$$

### 4.2.5. Espacement des armatures transversales :

$$St1 \leq \min [0.9d ; 40] = \min [42.75 ; 40] = 40 \text{ cm}$$

$$At = n \frac{\pi \phi^2}{4} = 4 \frac{3.14 \times 1.2^2}{4} = 4.52 \text{ cm}^2$$

$$St2 \leq \frac{At \times f_e}{0.4 \times b_0} = \frac{4.52 \times 400}{0.4 \times 30} = 150.66 \text{ cm}$$

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

$$St3 \leq \frac{0.8f_e \times At \times (\sin\alpha + \cos\alpha)}{b_0(\tau_u - (0.3 \times f_{tj} \times k))} = \frac{0.8 \times 400 \times 4.52(\sin 45 + \cos 45)}{30(1.02 - (0.3 \times 2.1 \times 1))}$$
$$= 174.83 \text{ cm}$$

$$St \leq \min(St1; St2; St3) = 40 \text{ cm}$$

$$\frac{St}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ cm}$$

### 4.2.6. Vérification de compression dans la bielle du béton :

$$Vu \leq 0,267 \cdot b_0 \cdot a \cdot f_{c28} \text{ avec } a = 0,9 \times d$$

$$Vu = 856,07 \text{ KN}$$

$$Vu = 145,07 \text{ KN} \leq 856,06 \text{ KN} \quad \text{calcul vérifié.}$$

### 4.3. Les Poteaux :

$$Nu \text{ du poteau plus sollicité} = 452,35 \text{ KN} ; \quad Mu = 16,49 \text{ KN.m}$$

#### 4.3.1. Ferrailage des poteaux (30 × 30) Cm<sup>2</sup> :

Notre poteau est sollicité par flexion composé

$$Nu = 452,35 \text{ KN} ; \quad Mu = 16,49 \text{ KN.m} ; \quad d = 27,5 \text{ cm} ; \quad d' = 2,5 \text{ cm} ; \quad F_{c28} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{bu} = 14,16 \text{ MPa} ; \quad Fe = 400 \text{ MPa} ; \quad Fe/\gamma_s = 347,82 \text{ MPa}$$

#### D'après le diagramme de flexion composé :

$$(0,337h - 0,81d') \cdot b \cdot h \cdot f_{bu} = 0,1030 \text{ KN.m} \leq Nu(d-d') - M_1 = 40,06 \text{ KN.m}$$

Donc on a une section partiellement comprimée.

$$L_f = 0,7 L_0$$

$$L_f = 238 \text{ cm}$$

$$e_1 = e_0 + e_a \text{ avec : } e_0 = \frac{Mu}{Nu} = 3,64 \text{ cm} ; \quad e_a = \max(2 ; 1,36) \text{ cm} = 2 \text{ cm}$$

$$e_1 = 5,64 \text{ cm}$$

$$\frac{L_f}{h} = 11,33 \text{ cm} < \max(15 ; 20 \frac{e_1}{h} = 3,76) = 15 \text{ cm}$$

donc on prise en compte les effets du second ordre

$$e_2 = \frac{3 L_f^2}{10^4 h} (2 + \alpha \phi) \text{ avec } \alpha = 0,81 ; \quad \phi = 2$$

$$e_2 = 2,05 \text{ cm}$$

$$e' = 3,64 + 2 + 2,05 = 7,69 \text{ cm}$$

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

$$Nu' = N_0 = 452,35 \text{ KN}$$

$$Mu' = Nu' \cdot e' = 34,78 \text{ KN.m}$$

$$M_1' = Mu' + Nu' \left( d - \frac{h}{2} \right)$$

$$M_1' = 91,32 \text{ KN.m}$$

### Organigramme de Flexion simple :

$$Mu = 91,32 \text{ KN.m} ; b = 30 \text{ cm} ; d = 27,5 \text{ cm} ; d' = 2,5 \text{ cm} ; f_{bu} = 14,16 \text{ MPa} ;$$

$$Fe/\gamma_s = 348 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_L = 1,739 ; \alpha_L = 0,668 ; \mu_L = 0,392 ; \beta_L = 0,733$$

### 2.5. Tableau: ferrailage des Poteaux:

Elément	M(KN.m)	b <sub>0</sub> (cm)	$\mu$	$\alpha$	$\beta$	A <sub>calc</sub> (cm <sup>2</sup> )
Travée	91,32	30	0,284	0,4284	0,829	11,51

$$\mu = 0,284 \leq \mu_L = 0,392 \text{ donc } A's = 0$$

On adopte :

$$8\text{HA}14 = 12,32 \text{ cm}^2.$$

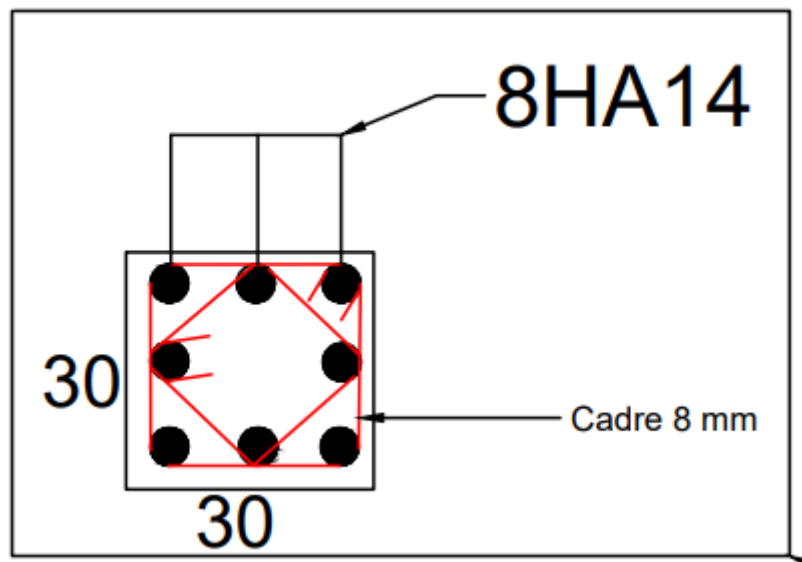


Figure.2.13 : ferrailage de poteau.

**4.4. Les Fondations :** La fondation constitue la liaison entre la structure et le sol, assurant le transfert des charges permanentes et variables. Sa qualité conditionne la stabilité globale de l'ouvrage. Le choix du type de fondation présente plusieurs défis, principalement liés aux caractéristiques du sol.

#### **4.4.1. Le choix du type de fondation :**

Le choix du type de fondation à en générale plusieurs paramètres qui sont :

- Type d'ouvrage construit.
- La nature et l'homogénéité du bon sol.
- La capacité portance de terrain de fondation.
- La charge totale transmise au sol.
- La raison économique.

La facilité de réalisation

#### **4.4.2. Etude du sol :**

Dans une étude d'un projet de génie civil, le calcul des fondations ne peut se faire sans étude géotechnique approfondie du sol en effectuant plusieurs sondages. Dans notre cas le résultat de l'étude géotechnique nous donne la contrainte du sol qui est à égal à **2bar**.

**Groupe 1 : (222,25 ; 452,35 ; 113,25) (fondation de centre)**

**Groupe 2 : (122,96 ; 249,24 ; 62,88) (fondation de rive )**

#### **4.4.3. Les surfaces des semelles :**

- $S_{s1}$  où  $N_u = 452,35$  KN

$$S_{s1} \geq \frac{N_u}{\sigma'_{sol}}$$

$$S_{s1} = 2,26 \text{ m}^2$$

- $S_{s2}$  où  $N_u = 249,24$  KN

$$S_{s2} \geq \frac{N_u}{\sigma'_{sol}}$$

$$S_{s2} = 1,24 \text{ m}^2$$

#### **4.4.4. les dimensions des semelles :**

- On prend ( $A_1 = 1,5$  ;  $B_1 = 1,5$ )  $\text{m}^2$  avec  $S_{s1} = 2,25 \text{ m}^2$

## CHAPITRE 02 : Dimensionnement et calcul de ferrailage des éléments principaux

La hauteur de semelle<sub>1</sub>  $Ht \geq d+0,05$  m ou  $d \geq \frac{A_1-a_1}{4} = 0,3$  m

Donc  $Ht_1 = 35$ cm.

- On prend ( $A_2 = 1,2$  ;  $B_2 = 1,2$ ) m<sup>2</sup> avec  $Ss_2 = 1,44$  m<sup>2</sup>

La hauteur de semelle<sub>1</sub>  $Ht \geq d+0,05$  m ou  $d \geq \frac{A_1-a_1}{4} = 0,225$  m

Donc  $Ht_2 = 27,5$  cm.

### 4.4.5. Détermination des charges :

#### Groupe 1 :(fondation de centre)

- Poids de la semelle :  $1,5 \cdot 1,5 \cdot 0,35 \cdot 25 = 19,68$  KN
- Poids de l'amorce poteau :  $0,3 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 25 = 2,25$ KN « L de l'amorce poteau = 1m. »
- Poids des terres au dessus de la semelle :  $1,2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 18 = 25,92$  KN

$$Nu = 452,35 + 19,68 + 2,25 + 25,92$$

$$Nu = 500,2 \text{ KN}$$

#### Groupe 2 : (fondation de rive)

- Poids de la semelle :  $1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,275 \cdot 25 = 9,9$  KN
- Poids de l'amorce poteau :  $0,3 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 25 = 2,25$  KN « L de l'amorce poteau = 1m. »
- Poids des terres au dessus de la semelle :  $0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 18 = 14,58$  KN

$$Nu = 249,24 + 9,9 + 2,25 + 14,58$$

$$Nu = 275,97 \text{ KN}$$

### 4.4.6. Ferrailage des semelles :

#### Groupe 1 : (fondation de centre)

$Nu = 500,2$  KN ;  $A=1,5$  m ;  $a=0,3$  m ;  $h=0,35$  m ;  $c=5$  cm ;  $\sigma'_{st} = 348$  MPa

$$A = \frac{Nu (A-a)}{8 (h-c)\sigma'_{st}} = 7,72 \text{ cm}^2$$

$$As_x = As_y = 7,72 \text{ cm}^2$$

**On Adopte : 6HA14 = 9,24 cm<sup>2</sup>**

#### Groupe 2: (fondation de rive )

$Nu = 275,97$  KN ;  $A=1,2$  m ;  $a=0,3$  m ;  $h=0,275$  m ;  $c=5$  cm ;  $\sigma'_{st} = 348$  MPa

$$A = \frac{Nu (A-a)}{8 (h-c)\sigma'_{st}} = 3,96 \text{ cm}^2$$

$$As_x = As_y = 3,96 \text{ cm}^2$$

**On Adopte: 4 HA12 = 4,52 cm<sup>2</sup>**

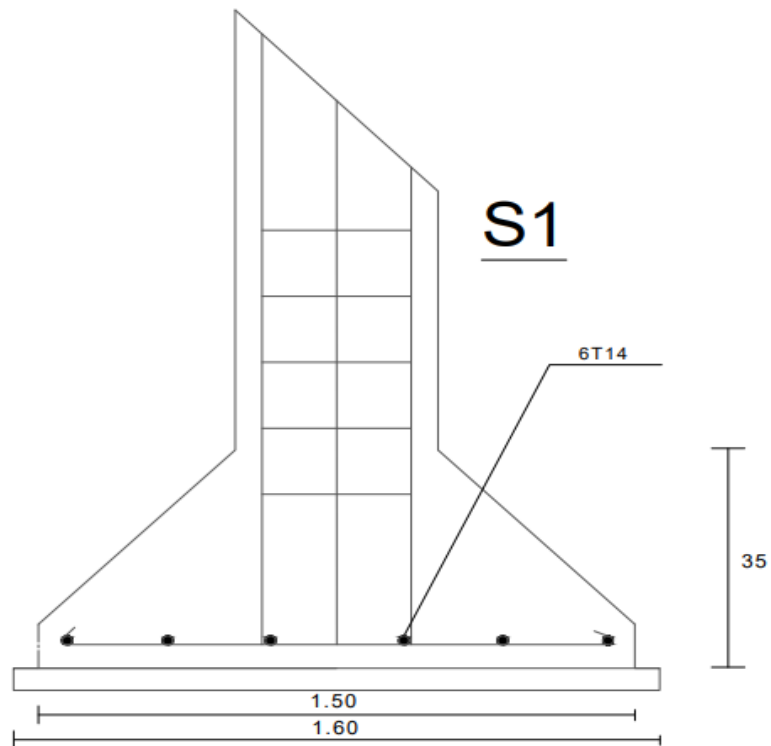


Figure.2.14 : Ferrailage de fondations Group 1 (fondation de centre)

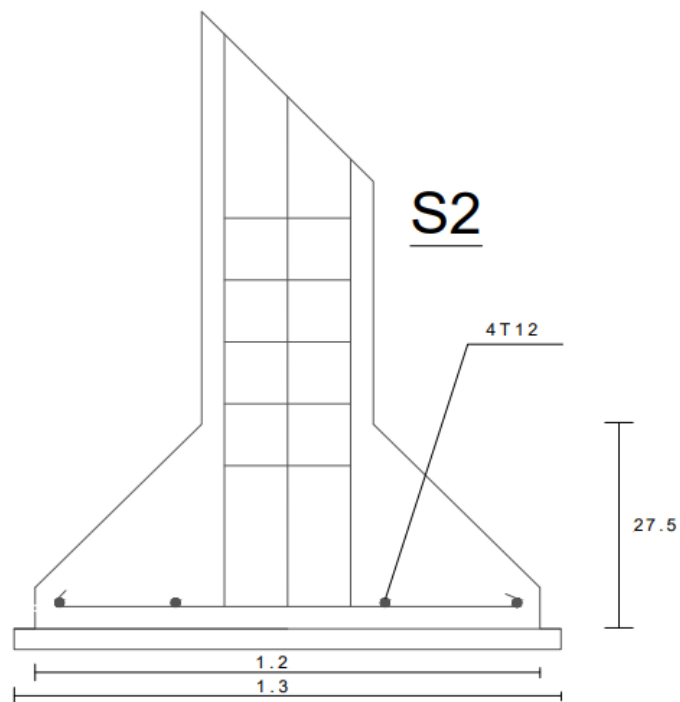
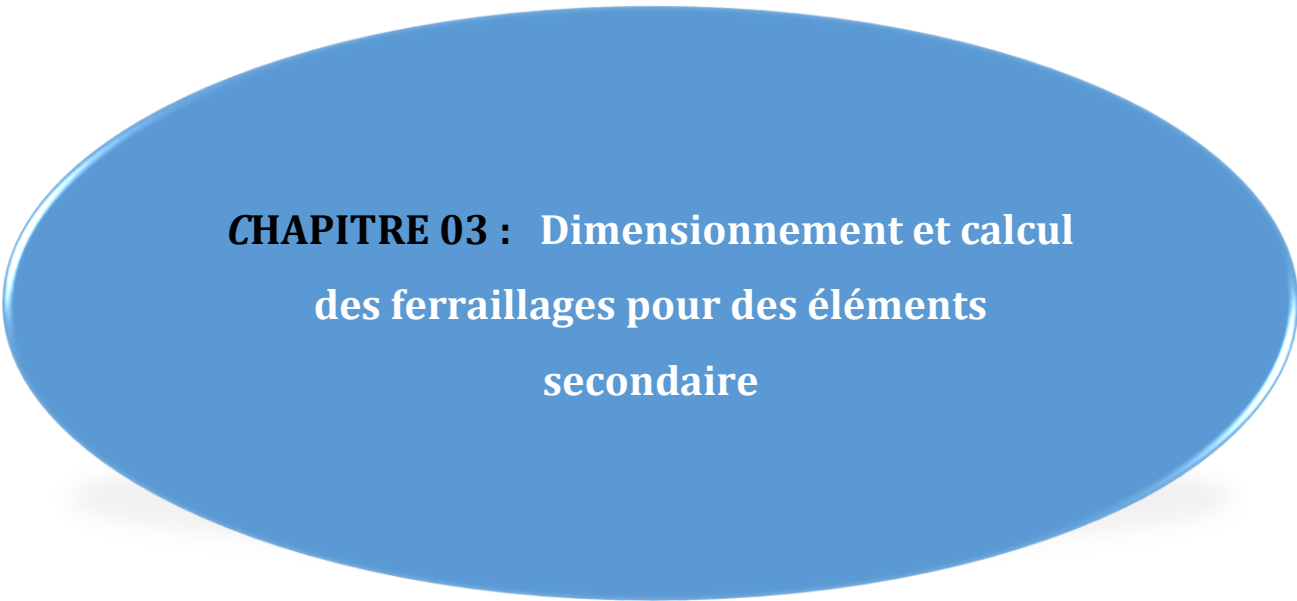


Figure.2.15 : Ferrailage de fondations Group 2 (fondation de rive)



**CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul  
des ferrailages pour des éléments  
secondaire**

### 1. Acrotère :

Cet élément en béton, situé à l'extrémité du bâtiment, est proportionnel à son périmètre en longueur, mais sa hauteur et son épaisseur sont généralement de 60 cm et 10 cm respectivement. Fabriqué en béton armé, il est conçu pour supporter des charges supplémentaires telles que les charges d'exploitation Q, estimées à 100 kg/m linéaire, résultant de diverses forces telles que les vents, l'entretien ou les séismes. En plus de supporter son propre poids, dénommé "Charge Permanente G", il est conçu comme un élément fiable de la surface de la dalle.

Utilisé pour : protéger les ouvriers d'entretien et protéger la couche de bouche de donnée

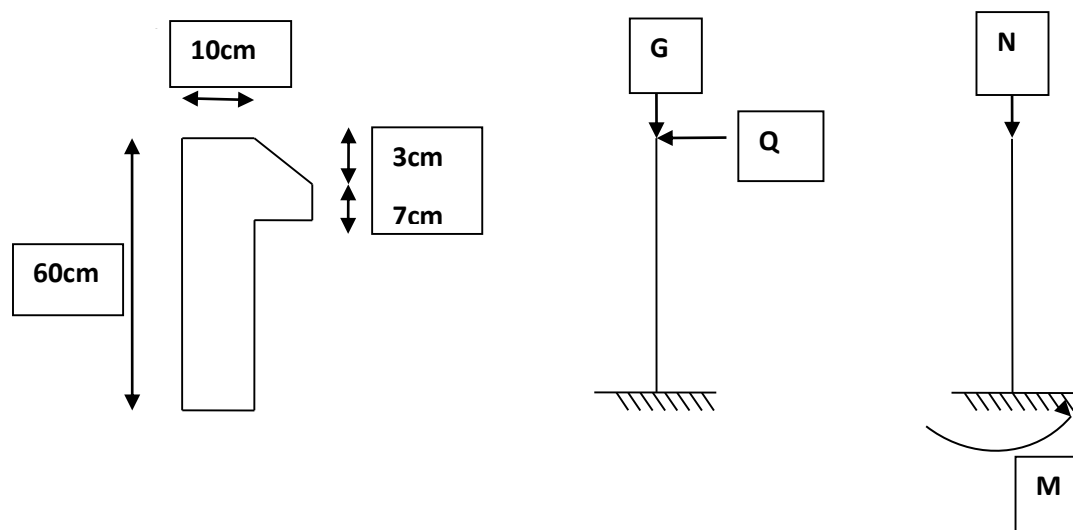


Figure 3.1 : dimension de l'acrotère et les force

#### 1.1. Calcul les descentes des charges de l'acrotère :

-La charge permanente G :

$$g = 0.6 \times 0.1 \times 25 + 0.1 \times 0.07 \times 25 + 0.03 \times \frac{0.1}{2} \times 25 = 1.712 \text{ KN/ml}$$

-Enduit ciment :

$$g' = 20 \times (0.6 + 0.1 + 0.104 + 0.07 + 0.1 + 0.5) \times 0.01 = 0.294 \text{ KN/ml}$$

$$G = g + g' = 1.712 + 0.294 = 2 \text{ KN/ml}$$

-La charge de l'exploitation :

$$Q = 100 \text{ Kg/ml} = 1 \text{ KN/ml}$$

## CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul des ferrillages pour des éléments secondaire

**ELU :**

$$N_u = G = 2 \text{ KN/ml}$$

$$M_u = 1.5 \times Q \times h = 1.5 \times 1 \times 0.6 = 0.9 \text{ KN.m}$$

$$T_u = 1.5 \times Q = 1.5 \times 1 = 1.5 \text{ KN}$$

**ELS :**

$$N_s = G = 2 \text{ KN/ml}$$

$$M_s = Q \times h = 1 \times 0.6 = 0.6 \text{ KN.m}$$

$$T_s = Q = 100 \text{ Kg} = 1 \text{ KN}$$

### 1.2. Calcul des armatures :

L'acrotère est un élément qui travaille dans la courbure de l'enceinte et à partir duquel on a certains données :

$$M_u = 0.9 \text{ KN.m} \quad ; \quad N_u = 2 \text{ KN/ml} \quad ; \quad f_{c28} = 25 \text{ MPa} \quad ; \quad \gamma_b = 1.5$$

$$e_0 = \frac{M_u}{N_u} \leq \frac{h}{2} - d'$$

$$\frac{0.9}{2} \leq \frac{0.1}{2} - 0.03$$

$$0.45 \leq 0.02 \text{ non verifiere}$$

**Remarque :** La force N est une force de pression appliquée en dehors de la zone spécifiée par la militarisation, de sorte que la section Est partiellement comprimée, l'étude de la section en flexion simple est sous l'influence d'un placebo.

Le compte sera le suivant :

**ELU :**

$$M_1 = M_u + N_u \times \left( \frac{h}{2} - c \right) = 0.9 + 2 \times \left( \frac{0.1}{2} - 0.003 \right) = 0.94 \text{ KN.m}$$

$$f_{bc} = 0.85 \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 14.16 \text{ MPa}$$

$$U = \frac{M_u}{b d^2 f_{bc}} = \frac{2 \times 10^{-3}}{1 \times 0.07^2 \times 14.16} = 0.0288$$

On a  $U_L = 0.392$

$$U \leq U_L \Rightarrow A_s' = 0$$

$$\alpha = 1.25 \times (1 - \sqrt{1 - 2U}) = 1.25 \times (\sqrt{1 - 2(0.0288)}) = 0.0365$$

$$\beta = 1 - 0.4(0.0365) = 0.9854$$

## CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul des ferrillages pour des éléments secondaire

$$\varepsilon_{st} = 10\%$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{2 \times 10^{-3}}{0.985 \times 0.07 \times 348} = 0.83 \text{ cm}^2$$

**ELS :**

### 1.3. Fissuration préjudiciable :

$$\sigma_{bc} = 0.6 f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \min\{266.66, 201.63\} \Rightarrow \sigma_s = 201.63 \text{ MPa}$$

$$k_1 = \frac{\sigma_s}{15 \sigma_{bc}} = \frac{201.63}{15 \times 15} = 0.896$$

$$\tilde{\alpha} = \frac{1}{1 + k_1} = \frac{1}{1 + 0.896} = 0.527$$

$$U_{rb} = \left(1 - \frac{\tilde{\alpha}}{3}\right) \frac{\tilde{\alpha}}{2} = \left(1 - \frac{0.527}{3}\right) \times \frac{0.527}{2} = 0.217$$

$$M_{rb} = 0.217 \times 100 \times 7^2 \times 15 = 15.94 \text{ KN.m}$$

$$0.6 < 15.94 \text{ KN} \quad \text{verifiere}$$

$$U_1 = \frac{0.6 \times 10^{-3}}{1 \times 0.07^2 \times 201.63} = 6.07 \times 10^{-4} = 0.000607$$

$$B_1 = 0.955$$

$$A_s = \frac{0.6}{0.995 \times 7^2 \times 201.63} = 0.63 \text{ cm}^2$$

### 1.4. Condition de fragilité :

$$A_s \geq 0.23 \times 100 \times 7^2 \times \frac{2.1}{400} = 0.84 \text{ cm}^2$$

$$A_{s \max}\{0.1, 0.84, 0.63\} = 0.84 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 4\text{HA6} = 1.13 \text{ cm}^2$$

### 1.5. Calcul d'armature transversal :

$$A_s = \frac{A_s}{4} = \frac{1.13}{4} = 0.28 \text{ cm}^2$$

Choix:  $A_s = 3\text{HA6} = 0.85 \text{ cm}^2$

### 1.6. Calcul l'espacement entre les armatures :

$$St = \min \left\{ \frac{h}{35}, \frac{b}{10}, \frac{\phi}{10} \right\} = \min \{0.28, 10, 0.6\}$$

St=0.28 cm

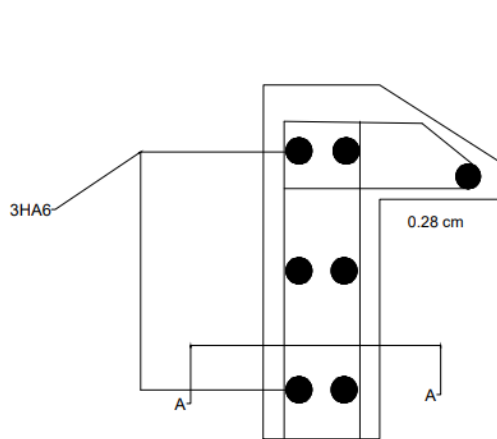


Figure 3.2 : Représentation de l'armement

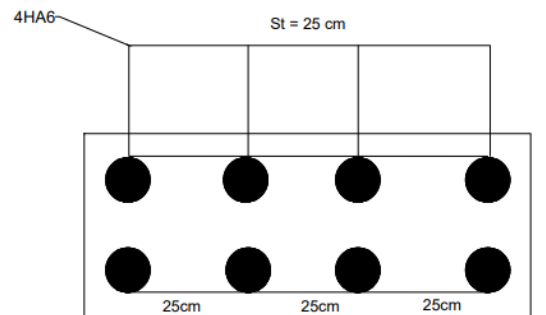


Figure 3.3: Disposition des armatures

**2. Les Escaliers :** L'escalier est un ouvrage constitué d'une suite de plans horizontaux permettant de passer à pied d'un niveau à un autre. C'est l'élément de liaison entre les étages. L'escalier est déterminé par sa montée, son emmarchement, son giron et la hauteur de marche.

#### 2.1. Dimensionnement :

- Pour le dimensionnement des marches (g) et des contres marche (h) on utilise généralement la formule de **BLONDEL** :  $60 \leq g+2h \leq 66$

Avec : h : hauteur du contre marche varie entre 14 à 20 cm → h= 17 cm

- Nombre de contremarche : 20
- Nombre de marche : 20-1 = 19
- Le giron : 30 cm
- Longueur de la ligne de foulée :  $L=g(n-1) = 540$  cm

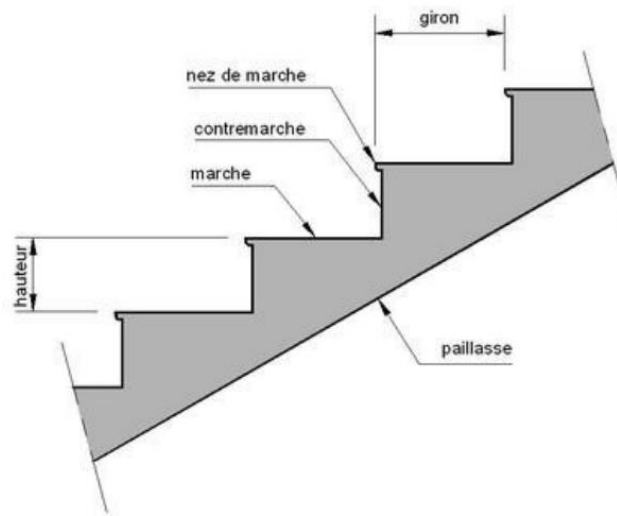


Figure3.4 : Schéma des composantes d'escaliers.

- Le type d'escalier utilisé dans notre bâtiment est un escalier a deux volées droites perpendiculaires et un palier de repos intermédiaire.

Alors :

- $L_1=300$  cm ;  $L_2=300$  cm
- La hauteur de l'étage : 3,40 m
- La hauteur de Volée :  $h_{v1}=1,7$  m ;  $h_{v2}= 1,7$  m
- Nombre de contremarche de volée :  $n_{v1}=10$  ;  $n_{v2}=10$
- Nombre de marche de volée :  $n_{mv1}= 9$  ;  $n_{mv2}= 9$
- $h_1 = 17$  cm ;  $h_2=17$  cm
- $g_1 =30$  cm ;  $g_2=30$  cm

### 2.2. vérification :

$59 \leq 30 + (2 \cdot 17) \leq 66$  Calcul vérifié.

### 2.3. L'angle d'inclinaison :

$\tan \alpha = \frac{h}{g}$  donc :  $\alpha = \arctg 17/30$

$\alpha^\circ = 29.53^\circ$

### 2.4. épaisseur de paillasse:

## CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul des ferrailages pour des éléments secondaire

---

$$L_v/30 \leq e_p \leq L_v/20$$

$$10.66 \leq e_p \leq 16$$

**On prend  $e_p = 15$  cm**

De même épaisseur que la paillasse pour faciliter la réalisation et le coulage.

L'épaisseur de la poutre est donnée par la formule suivante:

$$e = e_p + (h \times \cos \alpha) / 2$$

$$e = 15 + (17 \times \cos 29,53) / 2$$

$$e = 22 \text{ cm}$$

### 2.5. Calcul du ferrailage:

**Volée:**

$$G_v = \frac{\gamma_{\text{Béton}}}{\cos \alpha} \times e + g \text{ (Réglementation)}$$

$$G_v = \frac{25}{\cos 29,53} \times 0,22 + 0,84$$

$$G_v = 7,16 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = 2,5 \text{ KN/m}^2$$

**Palier :**

$$G_p = \gamma_{\text{béton}} \times e_p + g \text{ (Réglementation)}$$

$$G_p = 25 \times 0,15 + 0,84$$

$$G_p = 4,59 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = 2,5 \text{ KN/m}^2$$

#### ➤ Descentes des charges :

- Charge permanente sur la paillasse :  $G_v = 7,16 \text{ KN/m}^2$
- Surcharge d'exploitation :  $Q_v = 2,5 \text{ KN/m}^2$
- charge permanente sur le palier :  $G_p = 4,59 \text{ KN/m}^2$
- surcharge d'exploitation :  $Q_p = 2,5 \text{ KN/m}^2$

#### ➤ Les sollicitations :

## CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul des ferrailages pour des éléments secondaire

---

### Pour palier :

$$\text{ELU : } q_u = 1,35 \times G_p \times 1,77 + 1,5 Q_p \times 1,77 = 17,60 \text{ KN/m}$$

$$\text{ELS : } q_{\text{ser}} = G_p \times 1,77 + Q_p \times 1,77 = 12,54 \text{ KN/m}$$

### Pour volée :

$$\text{ELU : } q_u = 1,35 \times G_v \times 1,3 + 1,5 Q_v \times 1,3 = 17,44 \text{ KN/m}$$

$$\text{ELS : } q_{\text{ser}} = G_v \times 1,3 + Q_v \times 1,3 = 12,55 \text{ KN/m}$$

### ➤ Calcul les moments :

#### Pour Palier :

$$M_u = \frac{q_u \times l^2}{8} = 22,52 \text{ KN.m}$$

$$M_s = \frac{q_s \times l^2}{8} = 16,05 \text{ KN.m}$$

#### Pour volée :

$$M_u = \frac{q_u \times l^2}{8} = 15,89 \text{ KN.m}$$

$$M_s = \frac{q_s \times l^2}{8} = 11,43 \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{Travée}} = M_{\text{max}} = 22,52 \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{Appui}} = 0,3 M_{\text{max}} = 6,75 \text{ KN.m}$$

Ferrailage du pailasse : Notre pailasse est sollicité par flexion simple

## CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul des ferrillages pour des éléments secondaire

ELU :

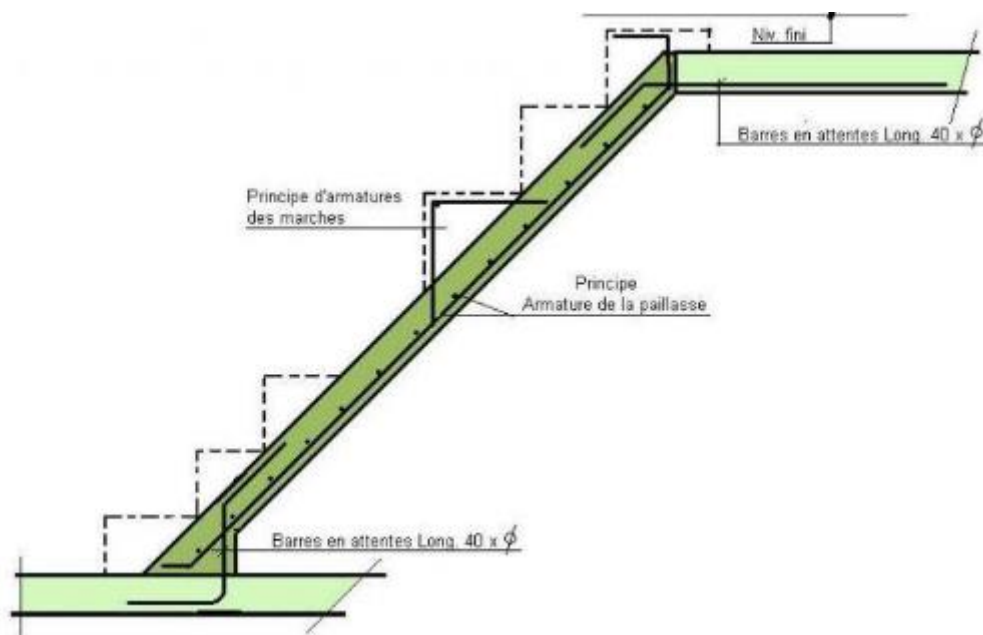
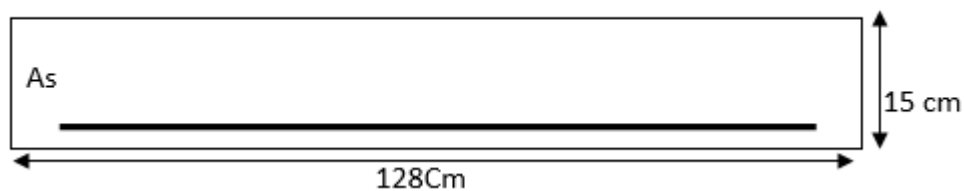


Figure 3.5 : Schéma de paillasse

$$b = 130 \text{ cm} , d = 12,5 \text{ cm} , d' = 2,5 \text{ cm}$$

$$\epsilon L = 1,74 , \alpha L = 0,668 , \mu L = 0,392$$

$$f_{bu} = 14,16 \text{ MPa} , f_{e/\gamma_s} = 347,82 \text{ MPa}$$



$$\mu = \frac{M_u}{f_{bu} \times b \times d^2} , A = \frac{M_u}{\delta_s \times d \times \beta} , \alpha = \frac{1 - \sqrt{1 - 2\mu}}{0,8} , \beta = 1 - 0,4\alpha$$

## CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul des ferrillages pour des éléments secondaire

**Tableau .3.1.** Ferrillage du paillasse (Travée et Appui) :

Elément	M(KN.m)	b0 (cm)	$\mu$	$\alpha$	B	A <sub>calcul</sub> (cm <sup>2</sup> )
Appuis	4,76	130	0,016	0,0201	0,992	1,10
Travée	15,89	130	0,055	0,0707	0,971	3,76

**En Travée :**

$$\mu=0,055 \leq \mu L=0,392 \rightarrow \text{Oui}, \text{ donc } A's = 0$$

$$A_{\text{Scalcul}} = 3,76 \text{ cm}^2 \text{ donc On adopte :}$$

$$4\text{HA}12 = 4,52\text{cm}^2$$

**En Appui :**

$$\mu=0,016 \leq \mu L = 0,392 \rightarrow \text{Oui}, \text{ donc } A's = 0$$

$$A_{\text{calcul}}=1,36 \text{ cm}^2 \text{ donc On adopte :}$$

$$4\text{HA } 8= 2,01 \text{ cm}^2$$

**Tableau.3.2.** des armatures de répartition :

	A(cm <sup>2</sup> )	On Adopte(cm <sup>2</sup> )
En Travée	$\frac{A_s}{4} = 1,13$	<b>5HA8 = 2,51</b>
En Appuis	$\frac{A_s}{4} = 0,502$	<b>3HA8 = 1,51</b>

**Tableau.3.3.** Vérification des contraintes à L'ELS de Paillasse (En Travée) :

M <sub>ser</sub> (N.M)	D (cm)	E (cm <sup>2</sup> )	y <sub>1</sub> (cm)	I (cm <sup>2</sup> )	K (N)	$\sigma_{bc}$ (MPa)	$\sigma_{st}$ (MPa)
11,43×10 <sup>3</sup>	0,521	13,03	3,12	7281,43	1,56	4,86	219,49

**E.L.S.C.B :**

$$\sigma_{bc}=4,86\text{MPa} \leq \overline{\sigma}_{bc}=15 \text{ MPa} \quad \text{condition vérifiée}$$

**E.L.S.O.F :**

$$\sigma_{st} = 219,49\text{MPa} \leq \overline{\sigma}_s= 400 \text{ MPa} \quad \text{condition vérifiée}$$

**Tableau.3.4.** Vérification des contraintes à L'ELS de Paillasse (En Appuis) :

M <sub>ser</sub> (N.M)	D (cm)	E (cm <sup>2</sup> )	y <sub>1</sub> (cm)	I (cm <sup>2</sup> )	K (N)	$\sigma_{bc}$ (MPa)	$\sigma_{st}$ (MPa)
3,42.10 <sup>3</sup>	0,231	5,79	2,18	3659,99	0,934	2,03	144,58

**E.L.S.C.B :**

$$\sigma_{bc}=2,03 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_{bc}=15 \text{ MPa} \quad \text{condition vérifiée}$$

## CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul des ferrillages pour des éléments secondaire

E.L.S.O.F :

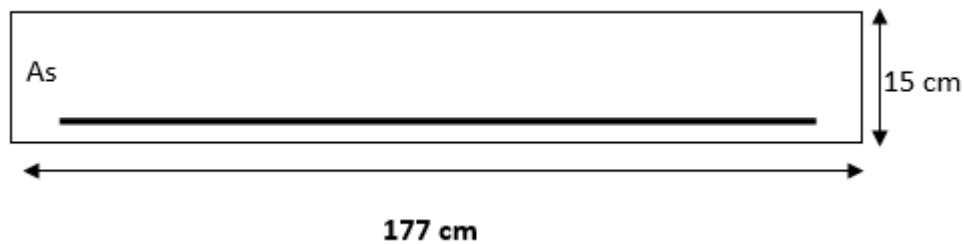
$$\sigma_{st}=144,58 \text{ MPa} \leq \overline{\sigma}_s=400 \text{ MPa}$$

condition vérifiée



Figure 3.6 : Ferrillage de paillasse

Ferrillage de Pallier :



ELU :

$$\mu = \frac{Mu}{fbu \times b \times d^2}, A = \frac{Mu}{\sigma_s \times d \times \beta}, \alpha = \frac{1 - \sqrt{1 - 2\mu}}{0,8}, \beta = 1 - 0,4\alpha$$

Tableau.3.5. Ferrillage de Pallier :

Elément	M (Kn.m)	b0 (cm)	$\mu$	$\alpha$	B	A <sub>calc</sub> (cm <sup>2</sup> )
Travée	22,52×10 <sup>3</sup>	177	0,057	0,0734	0,970	5,33

$$\mu=0,057 \leq \mu_L=0,392 \text{ donc } A' = 0$$

A<sub>scalcu</sub>= 5,38 cm<sup>2</sup> donc On adopte :

$$4HA14=6,16 \text{ cm}^2$$

## CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul des ferrillages pour des éléments secondaire

**Tableau.3.6.** Les armatures de répartition de palier

	$A(\text{cm}^2)$	On Adopte $\text{cm}^2$
En Travée	$\frac{As}{4} = 1,54$	<b>3HA10 = 2,36</b>

**Tableau.2.10.** Vérification des Contraintes à L'ELS de Palier :

$M_{\text{ser}}$ (N.M)	D (cm)	E ( $\text{cm}^2$ )	$y_1$ (cm)	I ( $\text{cm}^2$ )	K (N)	$\bar{\sigma}_{bc}$ (MPa)	$\bar{\sigma}_{st}$ (MPa)
$16,05 \cdot 10^3$	0,522	13,05	3,12	9921,65	1,61	5,02	226,52

**E.L.S.C.B :**

$$\bar{\sigma}_{bc} = 5,02 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \quad \text{condition vérifiée}$$

**E.L.S.O.F :**

$$\bar{\sigma}_{st} = 226,52 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_s = 400 \text{ MPa} \quad \text{condition vérifiée}$$



**Figure.3.7 :** Ferrillage de palie

### 2.5. Poutre palière :

#### Pré dimensionnement :

$$L = 3,20 \text{ m}$$

$$21,33 \leq h \leq 32$$

Selon R.P.A :

$$h = 30 \text{ cm}$$

$$8,53 \leq b \leq 22,4$$

Selon R.P.A :

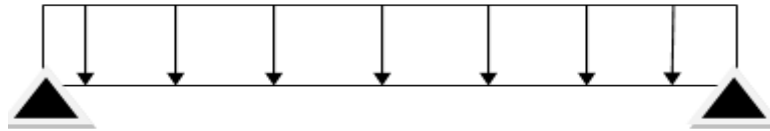
## CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul des ferrailages pour des éléments secondaire

$b = 30 \text{ cm}$

Mais on doit prendre  $h = 35 \text{ cm}$  donc notre poutre soit un rectangle, et soit cohérent avec les autres poutres

**Poutre Palière (30×35) cm<sup>2</sup>**

**Evaluation des charges :**



- 1) Poids Propre de la poutre :  $0,3 \times 0,35 \times 25 = 2,62 \text{ KN/ml}$
- 2) Poids Propre de la maçonnerie :  $3,77 \times 1,88 = 7,04 \text{ KN/ml}$
- 3) Réaction des volées :  $R_u = 35,04 \text{ KN}$  ;  $R_{ser} = 25,09 \text{ KN}$

Donc :

$$P_u = 1,35(2,62 + 7,04) + 35,04 = 48,08 \text{ KN/ml}$$

$$P_{ser} = 2,62 + 7,04 + 25,09 = 34,75 \text{ KN/ml}$$

$$M_{\max \text{ appui}} : M_a = M_b = \frac{pl^2}{12} = 41,02 \text{ KN.m}$$

$$M_{\max \text{ Travée}} : \frac{pl^2}{24} = 20,51 \text{ KN.m}$$

**Calcul de ferrailage :**

Poutre sollicitée par flexion simple

$M_u = 20,51 \text{ KN.m}$  ;  $b = 30 \text{ cm}$  ;  $d = 27,5 \text{ cm}$  ;  $d' = 2,5 \text{ cm}$  ;  $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$  ;  $f_{bu} = 14,66 \text{ MPa}$  ;

$Fe/\gamma_s = 347,82 \text{ MPa}$  ;  $\epsilon_L = 0,733$  ;  $\alpha_L = 0,668$  ;  $\mu_L = 0,392$

**Tableau.3.7 :** ferrailage de poutre palière

Élément	M(KN.m)	b <sub>0</sub> (cm)	μ	α	β	A <sub>calc</sub> (cm <sup>2</sup> )
Travée	20,51	30	0,0638	0,0814	0,967	2,21

$$\mu = 0,0638 \leq \mu_L = 0,392 \text{ donc } A's = 0$$

**On adopte :**

**3HA12 = 3,39 cm<sup>2</sup>** , Le même choix est appliqué pour les appuis.

**Vérification de l'effort tranchant :**

$$\tau_u = \frac{vu}{b_0 \cdot d} = 0,298 \text{ MPa}$$

## CHAPITRE 03 : Dimensionnement et calcul des ferrillages pour des éléments secondaire

---

$$\bar{\tau}_u = 3,3\text{MPa}$$

$\tau_u \leq \bar{\tau}_u$  calcul vérifiée.

### Vérification des armatures longitudinal :

$$A_t = 3,39\text{cm}^2 \geq 0,145 \quad \text{calcul vérifié.}$$

### Vérification de compression dans la bielle du béton :

$$V_u = 50,52\text{KN} \leq 495 \text{ KN} \quad \text{calcul vérifié.}$$

### Armatures Transversales :

$$\emptyset \leq \min \left( \frac{30}{35} = 8,75 ; \frac{b_0}{10} = 30 ; 12 \right) \text{ mm}$$

$$\emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$A_t = 2,0096 \text{ cm}_2$$

**On adopte : 4HA8 = 2,01 cm<sup>2</sup>**

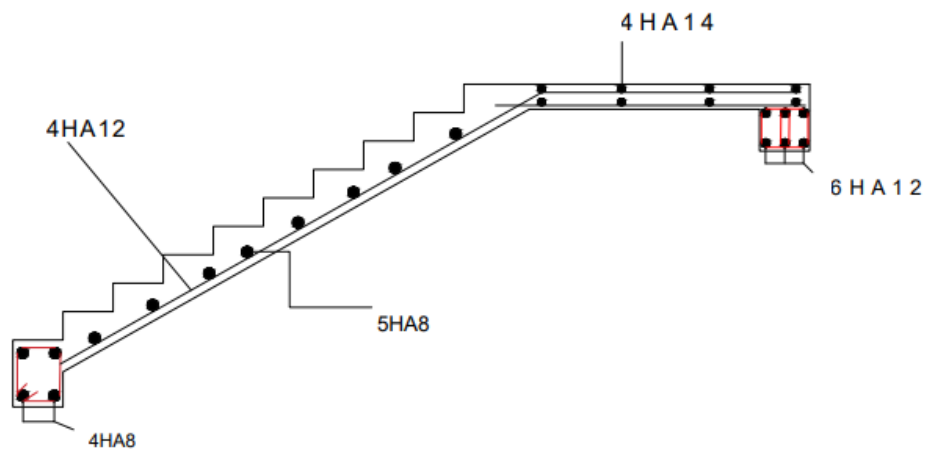
$$A_t = 2,01\text{cm}^2 \geq A_{\min} = 1,26 \text{ cm}^2$$

### Selon RPA :

$$S_t \leq \min \left( \frac{h}{4} = 7,5\text{cm} ; 12 \emptyset L \right)$$

$$S_t = 7,5 \text{ cm}$$

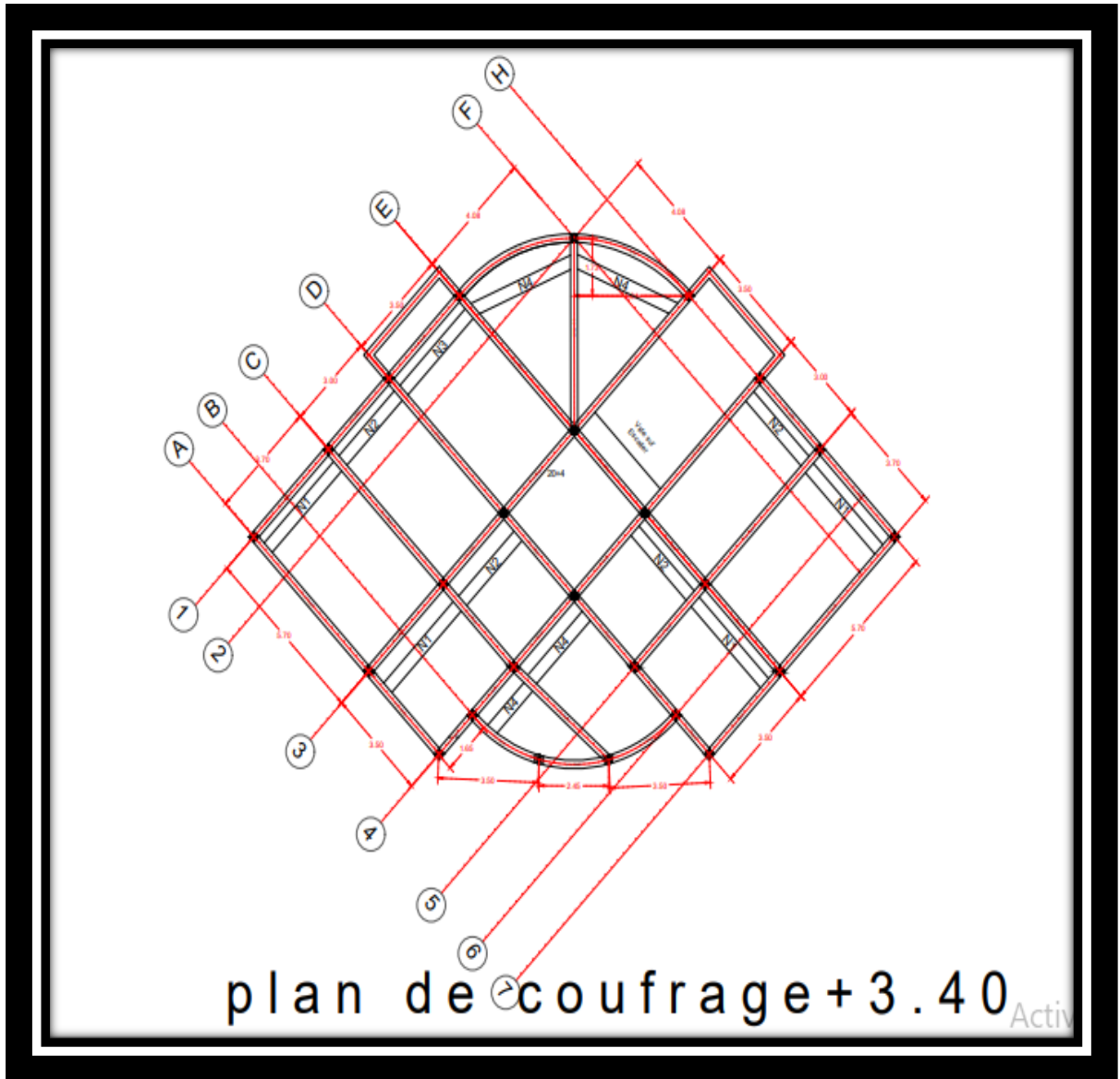
$$A_{t_{\min}} = 0,675\text{cm}^2 \leq 2,01 \text{ cm}^2 \quad \text{condition vérifiée.}$$

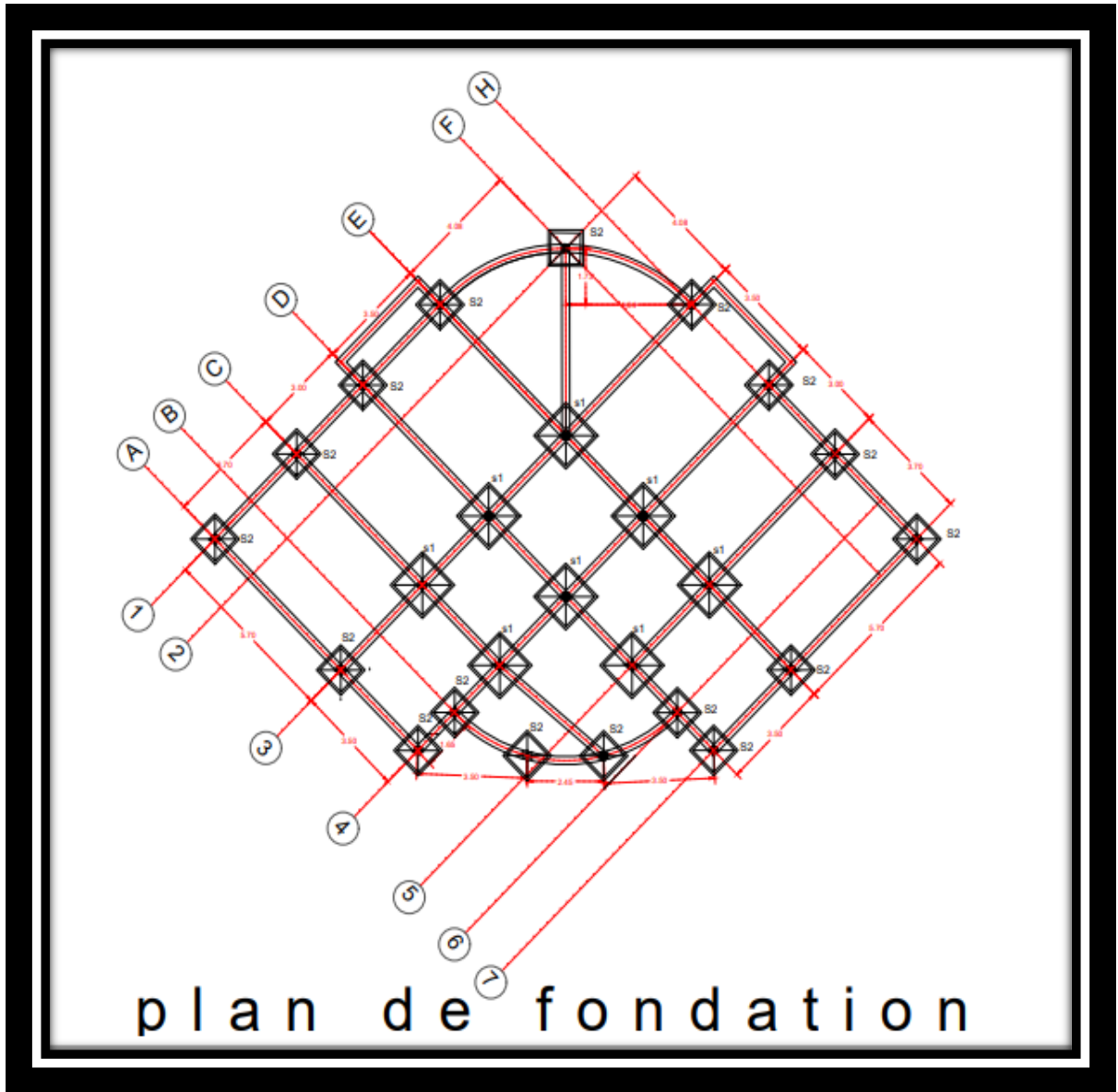


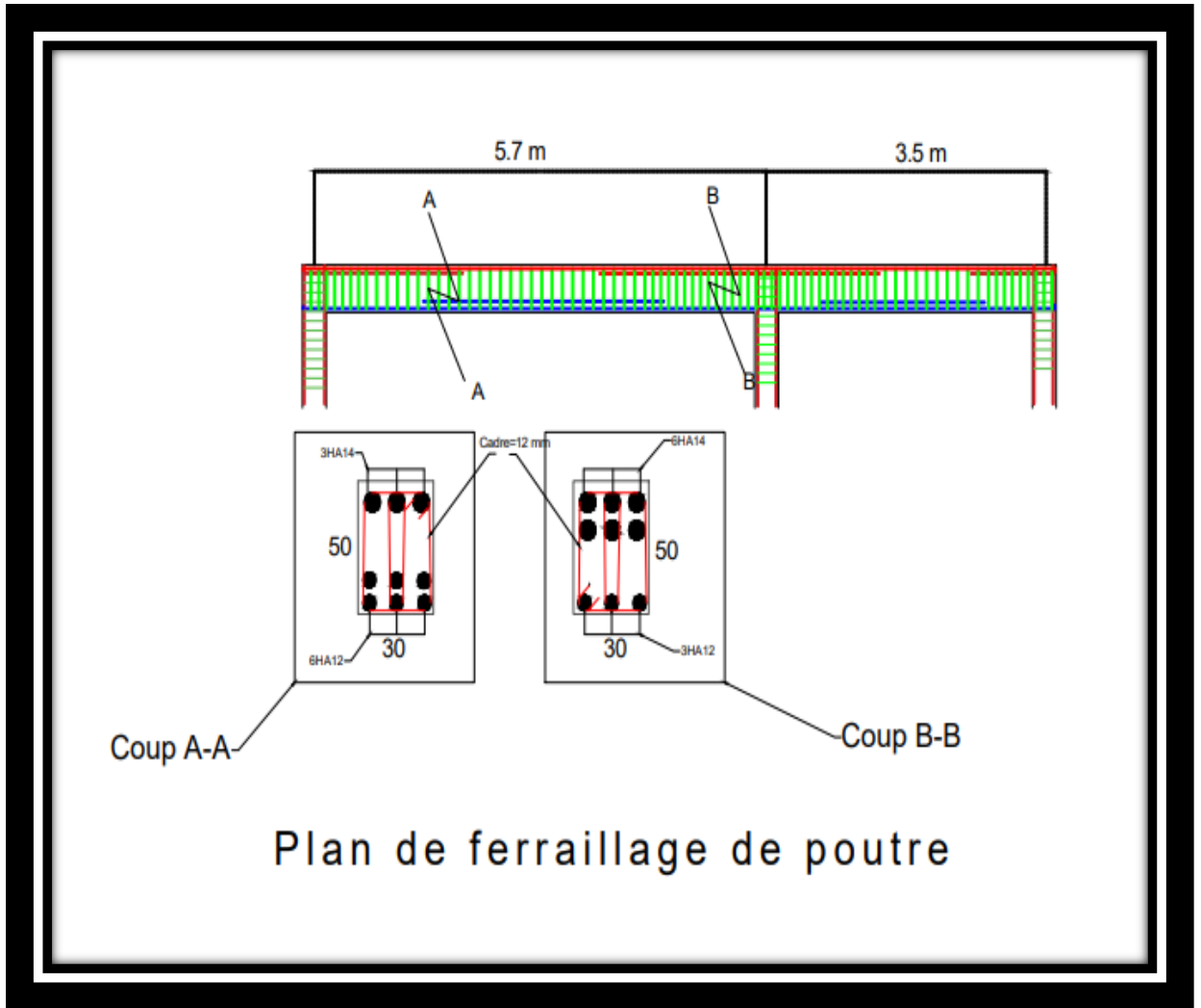
**Figure.3.8** : Ferrailage d'escalier

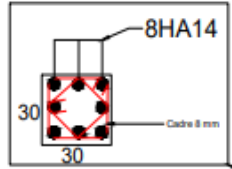
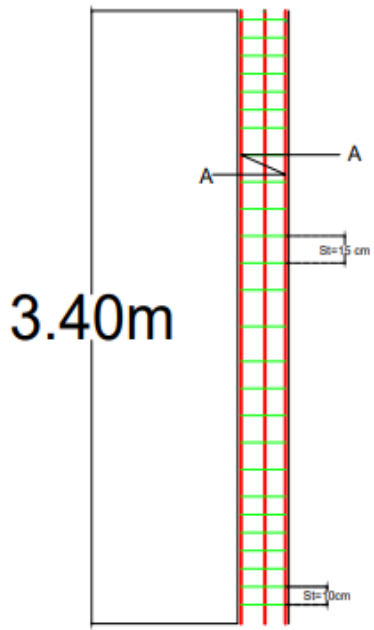


***Production de plan***









Coup A-A

Plan de ferrailage de poteau

# ***Conclusion générale***

Ce mémoire a permis de démontrer la maîtrise des concepts fondamentaux du dimensionnement et du calcul des ferrailages en béton armé. Les différentes étapes de l'étude, depuis la présentation de l'ouvrage jusqu'au calcul des armatures, ont été détaillées et illustrées par un exemple concret.

Premier chapitre a débuté par une présentation détaillée de l'ouvrage, en précisant sa géométrie, ses dimensions et les charges qu'il doit supporter. Ensuite, les propriétés des matériaux constitutifs du béton armé, à savoir le béton et l'acier, ont été exposées. L'accent a été mis sur les caractéristiques mécaniques de ces matériaux, telles que la résistance à la compression, la résistance à la traction et le module d'élasticité.

Deuxième chapitre s'est concentré sur le dimensionnement et le calcul des ferrailages pour les éléments principaux de l'ouvrage, tels que les poutres, les poteaux, les dalles et les fondations. Les différentes méthodes de calcul, notamment la méthode des états limites, ont été présentées et appliquées. Le choix des armatures et leur disposition ont été déterminés en fonction des sollicitations et des résistances requises.

Troisième chapitre a traité du dimensionnement et du calcul des ferrailages pour les éléments secondaires de l'ouvrage, tels que l'acrotère et les escaliers et les fondations. Des méthodes de calcul spécifiques à chaque type d'élément ont été présentées et appliquées. L'importance de la prise en compte des effets secondaires, tels que les effets de cisaillement et de torsion, a été soulignée.

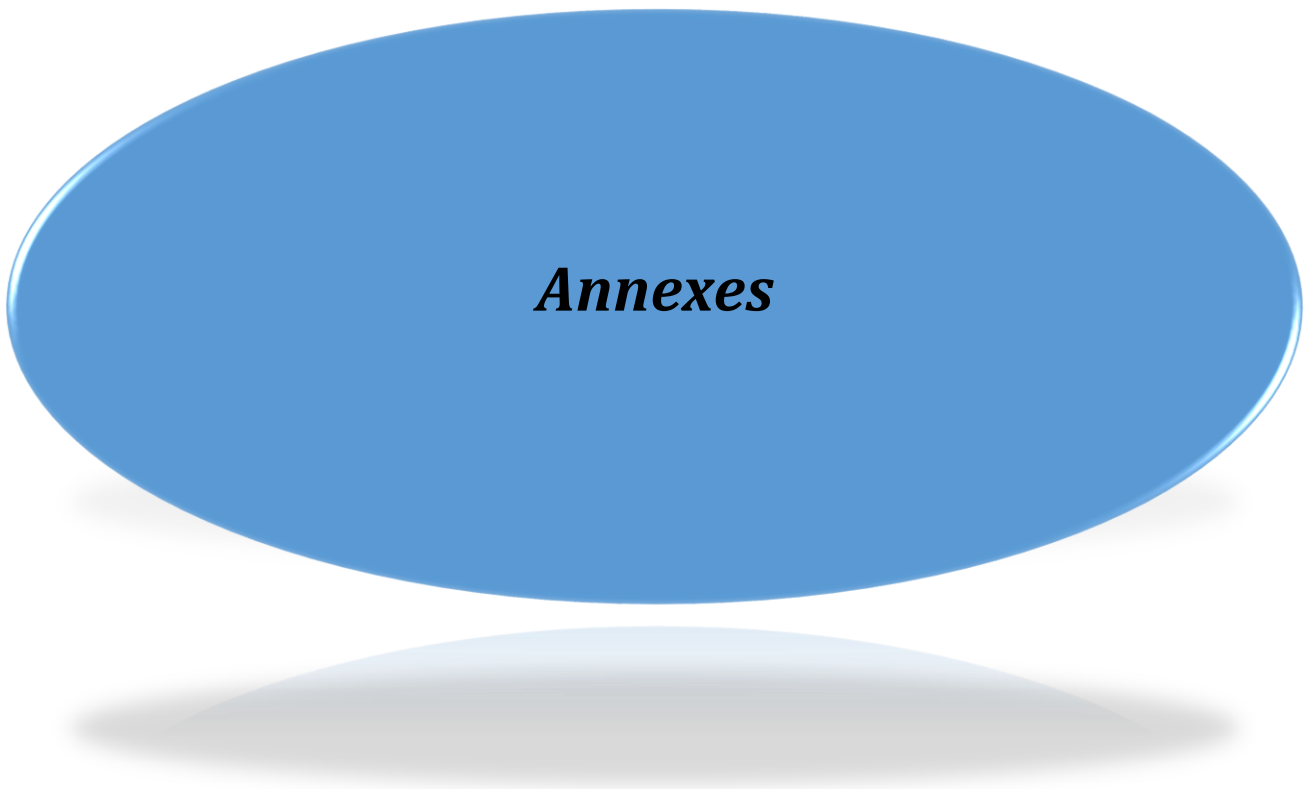
Les résultats obtenus permettent de garantir la sécurité et la durabilité de la structure en béton armé.

# Référence

- Document technique réglementaire DTR B.C.2.2
  
- Règlement parasismique Algérien RPA99/version 2003  
  
BAEL 91 révisé 99
  
- Règles de conception et de calcul des structures en  
  
béton armé (C.B.A 93).
  
- Cours et TD du cursus
  
- Logiciel de Robot et Autocad

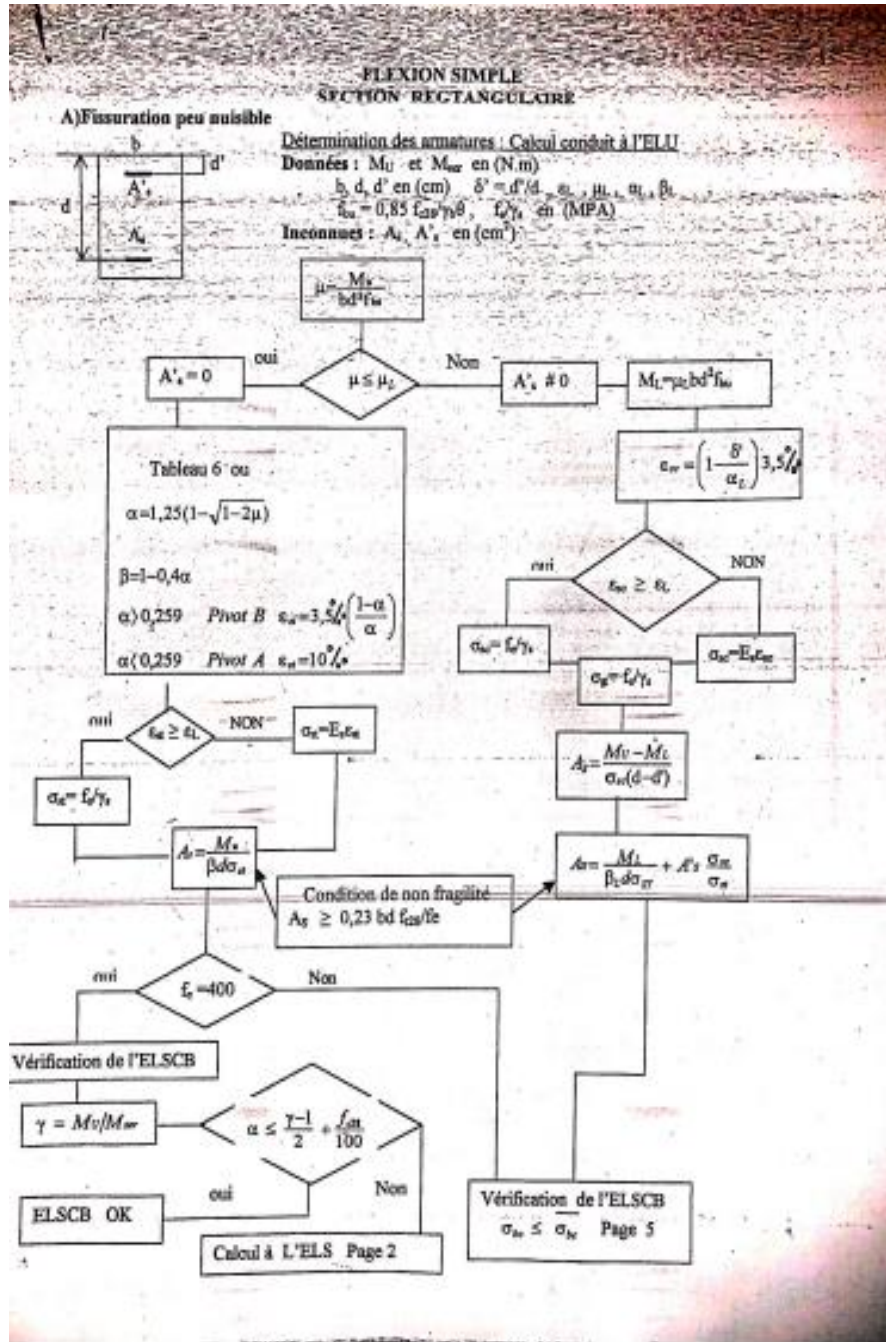
# Annexes

a



# Annexes

a



# Annexes

a

TABLEAU 6

Estimants optimaux de régression

Pour l'estimation du tableau dans le cas de la section en T.

ANONYME

LABORATOIRE

ANONYME

Estimants optimaux de régression

Valeurs de  $\beta$  et  $1000 \sigma_{\beta}$  en fonction de  $\mu$  et  $\sigma_{\mu}$ .

$\mu$	$\beta$	$1000 \sigma_{\beta}$	$\mu$	$\beta$	$1000 \sigma_{\beta}$	$\mu$	$\beta$	$1000 \sigma_{\beta}$	$\mu$	$\beta$	$1000 \sigma_{\beta}$
0,200	0,0000	1,0000	0,200	0,1004	0,9896	0,200	0,2000	1,0000	0,200	0,3004	0,9896
0,205	0,0002	1,0000	0,205	0,1011	0,9897	0,205	0,2005	1,0000	0,205	0,3011	0,9897
0,210	0,0004	1,0000	0,210	0,1018	0,9898	0,210	0,2010	1,0000	0,210	0,3018	0,9898
0,215	0,0006	1,0000	0,215	0,1025	0,9899	0,215	0,2015	1,0000	0,215	0,3025	0,9899
0,220	0,0008	1,0000	0,220	0,1032	0,9900	0,220	0,2020	1,0000	0,220	0,3032	0,9900
0,225	0,0010	1,0000	0,225	0,1039	0,9901	0,225	0,2025	1,0000	0,225	0,3039	0,9901
0,230	0,0012	1,0000	0,230	0,1046	0,9902	0,230	0,2030	1,0000	0,230	0,3046	0,9902
0,235	0,0014	1,0000	0,235	0,1053	0,9903	0,235	0,2035	1,0000	0,235	0,3053	0,9903
0,240	0,0016	1,0000	0,240	0,1060	0,9904	0,240	0,2040	1,0000	0,240	0,3060	0,9904
0,245	0,0018	1,0000	0,245	0,1067	0,9905	0,245	0,2045	1,0000	0,245	0,3067	0,9905
0,250	0,0020	1,0000	0,250	0,1074	0,9906	0,250	0,2050	1,0000	0,250	0,3074	0,9906
0,255	0,0022	1,0000	0,255	0,1081	0,9907	0,255	0,2055	1,0000	0,255	0,3081	0,9907
0,260	0,0024	1,0000	0,260	0,1088	0,9908	0,260	0,2060	1,0000	0,260	0,3088	0,9908
0,265	0,0026	1,0000	0,265	0,1095	0,9909	0,265	0,2065	1,0000	0,265	0,3095	0,9909
0,270	0,0028	1,0000	0,270	0,1102	0,9910	0,270	0,2070	1,0000	0,270	0,3102	0,9910
0,275	0,0030	1,0000	0,275	0,1109	0,9911	0,275	0,2075	1,0000	0,275	0,3109	0,9911
0,280	0,0032	1,0000	0,280	0,1116	0,9912	0,280	0,2080	1,0000	0,280	0,3116	0,9912
0,285	0,0034	1,0000	0,285	0,1123	0,9913	0,285	0,2085	1,0000	0,285	0,3123	0,9913
0,290	0,0036	1,0000	0,290	0,1130	0,9914	0,290	0,2090	1,0000	0,290	0,3130	0,9914
0,295	0,0038	1,0000	0,295	0,1137	0,9915	0,295	0,2095	1,0000	0,295	0,3137	0,9915
0,300	0,0040	1,0000	0,300	0,1144	0,9916	0,300	0,2100	1,0000	0,300	0,3144	0,9916
0,305	0,0042	1,0000	0,305	0,1151	0,9917	0,305	0,2105	1,0000	0,305	0,3151	0,9917
0,310	0,0044	1,0000	0,310	0,1158	0,9918	0,310	0,2110	1,0000	0,310	0,3158	0,9918
0,315	0,0046	1,0000	0,315	0,1165	0,9919	0,315	0,2115	1,0000	0,315	0,3165	0,9919
0,320	0,0048	1,0000	0,320	0,1172	0,9920	0,320	0,2120	1,0000	0,320	0,3172	0,9920
0,325	0,0050	1,0000	0,325	0,1179	0,9921	0,325	0,2125	1,0000	0,325	0,3179	0,9921
0,330	0,0052	1,0000	0,330	0,1186	0,9922	0,330	0,2130	1,0000	0,330	0,3186	0,9922
0,335	0,0054	1,0000	0,335	0,1193	0,9923	0,335	0,2135	1,0000	0,335	0,3193	0,9923
0,340	0,0056	1,0000	0,340	0,1200	0,9924	0,340	0,2140	1,0000	0,340	0,3200	0,9924
0,345	0,0058	1,0000	0,345	0,1207	0,9925	0,345	0,2145	1,0000	0,345	0,3207	0,9925
0,350	0,0060	1,0000	0,350	0,1214	0,9926	0,350	0,2150	1,0000	0,350	0,3214	0,9926
0,355	0,0062	1,0000	0,355	0,1221	0,9927	0,355	0,2155	1,0000	0,355	0,3221	0,9927
0,360	0,0064	1,0000	0,360	0,1228	0,9928	0,360	0,2160	1,0000	0,360	0,3228	0,9928
0,365	0,0066	1,0000	0,365	0,1235	0,9929	0,365	0,2165	1,0000	0,365	0,3235	0,9929
0,370	0,0068	1,0000	0,370	0,1242	0,9930	0,370	0,2170	1,0000	0,370	0,3242	0,9930
0,375	0,0070	1,0000	0,375	0,1249	0,9931	0,375	0,2175	1,0000	0,375	0,3249	0,9931
0,380	0,0072	1,0000	0,380	0,1256	0,9932	0,380	0,2180	1,0000	0,380	0,3256	0,9932
0,385	0,0074	1,0000	0,385	0,1263	0,9933	0,385	0,2185	1,0000	0,385	0,3263	0,9933
0,390	0,0076	1,0000	0,390	0,1270	0,9934	0,390	0,2190	1,0000	0,390	0,3270	0,9934
0,395	0,0078	1,0000	0,395	0,1277	0,9935	0,395	0,2195	1,0000	0,395	0,3277	0,9935
0,400	0,0080	1,0000	0,400	0,1284	0,9936	0,400	0,2200	1,0000	0,400	0,3284	0,9936
0,405	0,0082	1,0000	0,405	0,1291	0,9937	0,405	0,2205	1,0000	0,405	0,3291	0,9937
0,410	0,0084	1,0000	0,410	0,1298	0,9938	0,410	0,2210	1,0000	0,410	0,3298	0,9938
0,415	0,0086	1,0000	0,415	0,1305	0,9939	0,415	0,2215	1,0000	0,415	0,3305	0,9939
0,420	0,0088	1,0000	0,420	0,1312	0,9940	0,420	0,2220	1,0000	0,420	0,3312	0,9940
0,425	0,0090	1,0000	0,425	0,1319	0,9941	0,425	0,2225	1,0000	0,425	0,3319	0,9941
0,430	0,0092	1,0000	0,430	0,1326	0,9942	0,430	0,2230	1,0000	0,430	0,3326	0,9942
0,435	0,0094	1,0000	0,435	0,1333	0,9943	0,435	0,2235	1,0000	0,435	0,3333	0,9943
0,440	0,0096	1,0000	0,440	0,1340	0,9944	0,440	0,2240	1,0000	0,440	0,3340	0,9944
0,445	0,0098	1,0000	0,445	0,1347	0,9945	0,445	0,2245	1,0000	0,445	0,3347	0,9945
0,450	0,0100	1,0000	0,450	0,1354	0,9946	0,450	0,2250	1,0000	0,450	0,3354	0,9946
0,455	0,0102	1,0000	0,455	0,1361	0,9947	0,455	0,2255	1,0000	0,455	0,3361	0,9947
0,460	0,0104	1,0000	0,460	0,1368	0,9948	0,460	0,2260	1,0000	0,460	0,3368	0,9948
0,465	0,0106	1,0000	0,465	0,1375	0,9949	0,465	0,2265	1,0000	0,465	0,3375	0,9949
0,470	0,0108	1,0000	0,470	0,1382	0,9950	0,470	0,2270	1,0000	0,470	0,3382	0,9950
0,475	0,0110	1,0000	0,475	0,1389	0,9951	0,475	0,2275	1,0000	0,475	0,3389	0,9951
0,480	0,0112	1,0000	0,480	0,1396	0,9952	0,480	0,2280	1,0000	0,480	0,3396	0,9952
0,485	0,0114	1,0000	0,485	0,1403	0,9953	0,485	0,2285	1,0000	0,485	0,3403	0,9953
0,490	0,0116	1,0000	0,490	0,1410	0,9954	0,490	0,2290	1,0000	0,490	0,3410	0,9954
0,495	0,0118	1,0000	0,495	0,1417	0,9955	0,495	0,2295	1,0000	0,495	0,3417	0,9955
0,500	0,0120	1,0000	0,500	0,1424	0,9956	0,500	0,2300	1,0000	0,500	0,3424	0,9956
0,505	0,0122	1,0000	0,505	0,1431	0,9957	0,505	0,2305	1,0000	0,505	0,3431	0,9957
0,510	0,0124	1,0000	0,510	0,1438	0,9958	0,510	0,2310	1,0000	0,510	0,3438	0,9958
0,515	0,0126	1,0000	0,515	0,1445	0,9959	0,515	0,2315	1,0000	0,515	0,3445	0,9959
0,520	0,0128	1,0000	0,520	0,1452	0,9960	0,520	0,2320	1,0000	0,520	0,3452	0,9960
0,525	0,0130	1,0000	0,525	0,1459	0,9961	0,525	0,2325	1,0000	0,525	0,3459	0,9961
0,530	0,0132	1,0000	0,530	0,1466	0,9962	0,530	0,2330	1,0000	0,530	0,3466	0,9962
0,535	0,0134	1,0000	0,535	0,1473	0,9963	0,535	0,2335	1,0000	0,535	0,3473	0,9963
0,540	0,0136	1,0000	0,540	0,1480	0,9964	0,540	0,2340	1,0000	0,540	0,3480	0,9964
0,545	0,0138	1,0000	0,545	0,1487	0,9965	0,545	0,2345	1,0000	0,545	0,3487	0,9965
0,550	0,0140	1,0000	0,550	0,1494	0,9966	0,550	0,2350	1,0000	0,550	0,3494	0,9966
0,555	0,0142	1,0000	0,555	0,1501	0,9967	0,555	0,2355	1,0000	0,555	0,3501	0,9967
0,560	0,0144	1,0000	0,560	0,1508	0,9968	0,560	0,2360	1,0000	0,560	0,3508	0,9968
0,565	0,0146	1,0000	0,565	0,1515	0,9969	0,565	0,2365	1,0000	0,565	0,3515	0,9969
0,570	0,0148	1,0000	0,570	0,1522	0,9970	0,570	0,2370	1,0000	0,570	0,3522	0,9970
0,575	0,0150	1,0000	0,575	0,1529	0,9971	0,575	0,2375	1,0000	0,575	0,3529	0,9971
0,580	0,0152	1,0000	0,580	0,1536	0,9972	0,580	0,2380	1,0000	0,580	0,3536	0,9972
0,585	0,0154	1,0000	0,585	0,1543	0,9973	0,585	0,2385	1,0000	0,585	0,3543	0,9973
0,590	0,0156	1,0000	0,590	0,1550	0,9974	0,590	0,2390	1,0000	0,590	0,3550	0,9974
0,595	0,0158	1,0000	0,595	0,1557	0,9975	0,595	0,2395	1,0000	0,595	0,3557	0,9975
0,600	0,0160	1,0000	0,600	0,1564	0,9976	0,600	0,2400	1,0000	0,600	0,3564	0,9976
0,605	0,0162	1,0000	0,605	0,1571	0,9977	0,605	0,2405	1,0000	0,605	0,3571	0,9977
0,610	0,0164	1,0000	0,610	0,1578	0,9978	0,610	0,2410	1,0000	0,610	0,3578	0,9978
0,615	0,0166	1,0000	0,615	0,1585	0,9979	0,615	0,2415	1,0000	0,615	0,3585	0,9979
0,620	0,0168	1,0000	0,620	0,1592	0,9980	0,620	0,2420	1,0000	0,620	0,3592	0,9980
0,625	0,0170	1,0000	0,625	0,1599	0,9981	0,625	0,2425	1,0000	0,625	0,3599	0,9981
0,630	0,0172	1,0000	0,630	0,1606	0,9982	0,630	0,2430	1,0000	0,630	0,3606	0,9982
0,635	0,0174	1,0000	0,635	0,1613	0,9983	0,635	0,2435	1,0000	0,635	0,3613	0,9983
0,640	0,0176	1,0000	0,640	0,1620	0,9984	0,640	0,2440	1,0000	0,640	0,3620	0,9984
0,645	0,0178	1,0000	0,645	0,1627	0,9985</						

# Annexes

a

Cours béton armé 2

Chapitre I : Flexion simple

Nuance	FeE215		FeE235		FeE400		FeE500	
	$\gamma_s = 1$	$\gamma_s = 1,15$	$\gamma_s = 1$	$\gamma_s = 1,15$	$\gamma_s = 1$	$\gamma_s = 1,15$	$\gamma_s = 1$	$\gamma_s = 1,15$
$f_{e/y_s}$	215	187	235	204	400	348	500	435
$\epsilon_{st}$ (‰)	1,075	0,935	1,175	1,02	2,00	1,74	2,5	2,175
$\alpha_s$	0,765	0,789	0,749	0,774	0,636	0,668	0,583	0,617
$\mu$	0,425	0,432	0,420	0,427	0,379	0,392	0,358	0,372

Section en  $cm^2$  de 1 à 20 armatures de diamètre  $\phi$  en mm

$\phi$	5	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
1	0,20	0,28	0,50	0,79	1,13	1,54	2,01	3,14	4,91	8,04	12,57
2	0,39	0,57	1,01	1,57	2,26	3,08	4,02	6,28	9,82	16,08	25,13
3	0,59	0,85	1,51	2,36	3,39	4,62	6,03	9,42	14,73	24,13	37,70
4	0,79	1,13	2,01	3,14	4,52	6,16	8,04	12,57	19,64	32,17	50,27
5	0,98	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,05	15,71	24,54	40,21	62,83
6	1,18	1,70	3,02	4,71	6,79	9,24	12,06	18,85	29,45	48,25	75,40
7	1,37	1,98	3,52	5,50	7,92	10,78	14,07	21,99	34,36	56,30	87,96
8	1,57	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	25,13	39,27	64,34	100,5
9	1,77	2,54	4,52	7,07	10,18	13,85	18,10	28,27	44,18	72,38	113,1
10	1,96	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	31,42	49,09	80,42	125,7
11	2,16	3,11	5,53	8,64	12,44	16,93	22,12	34,56	54,00	88,47	136,2
12	2,36	3,39	6,03	9,42	13,57	18,47	24,13	37,70	58,91	96,51	150,8
13	2,55	3,68	6,53	10,21	14,70	20,01	26,14	40,84	63,81	104,6	163,4
14	2,75	3,96	7,04	11,00	15,83	21,55	28,15	43,98	68,72	112,6	175,9
15	2,95	4,24	7,54	11,78	16,96	23,07	30,16	47,12	73,63	120,6	188,5
16	3,14	4,52	8,04	12,57	18,10	24,63	32,17	50,27	78,54	128,7	201,1
17	3,34	4,81	8,55	13,35	19,23	26,17	34,18	53,41	83,45	136,7	213,6
18	3,53	5,09	9,05	14,14	20,36	27,71	36,19	56,55	88,36	144,8	226,2
19	3,73	5,37	9,55	14,92	21,49	29,25	38,20	59,69	92,27	152,8	238,8
20	3,93	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	62,83	98,17	160,8	251,3

Section en  $cm^2$  de 1 à 20 armatures de diamètre  $\phi$  en mm.