

## **RAPPORT DE PROJET INTEGRE PI4**

Présenté en tant que

**ELEVE INGENIEUR  
EN GENIE CIVIL  
Coloration : Oil and Gas**

**PARCOURS : 4EME ANNEE**

---

## **CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN BATIMENT R+4 A TUNIS (RUE DE MALI)**

---

**Elaboré par : Hatem FRAY  
Med Yassine BEN HAJ HAMIDA  
Abir MALLAT  
Karim MOUSSA**

**Rapporteur: Mme.Mhadhbi Safa**

**Encadrant professionnel : Mr. Mohamed Youssef HSSINE**

**Encadrant universitaire : Mme.Zoghlemi Mariem**

**Année universitaire 2019- 2020**

# Sommaire

<b>Introduction générale .....</b>	<b>3</b>
<b>Partie I : Présentation du projet.....</b>	<b>4</b>
1 -Introduction .....	5
2- Terrain d'étude .....	6
3- Description des plans .....	6
a- Sous-sol.....	6
b- Rez-de-chaussée.....	7
c- 1er étage .....	7
d- Terrasse.....	8
4- Conclusion.....	8
<b>Partie II : Conception Structurale.....</b>	<b>9</b>
I-Conception.....	10
1) Introduction.....	10
2) Choix du système postaux-poutres.....	10
3) Processus générale.....	10
4) Etapes de la conception.....	11
4.1-Traçage des axes.....	11
4.2- Implantation des poteaux.....	11
4.3-Choix des poutres.....	12
4.4-Choix des plancher.....	13
4.4.1-Plancher en corp creux.....	13
4.4.2-Plancher en dalle pleine.....	14
4.5- Choix de longrines.....	15
5) Conception de l'infrastructure.....	15
6) Contraintes architecturales.....	16
7) Elaboration des plans coffrage et nomenclature.....	17
8) Conclusion.....	18
<b>Partie III :Hypothèse de calcul et évaluation de charges .....</b>	<b>19</b>
I- Règlement et norme de calcul.....	20
1) Unités à utiliser .....	20
II- Caractéristiques des matériaux .....	20
1) Béton armé .....	20
a) La masse volumique du béton.....	21
b) La résistance du béton à la compression .....	21
c) La résistance du béton à la traction .....	22
d) La déformation longitudinale du béton .....	22
e) Les contraintes limites.....	23
2) Acier .....	24
a) Contraintes limites .....	25
b) L'état limite de service.....	25
III- Evaluation des charges.....	26
1) Evaluation des charges permanentes.....	26
a) Plancher en corps creux.....	26
b) Dalle pleine.....	28
2) Evaluation des charges des murs, acrotères et cloisons .....	28
3) Evaluations des charges d'exploitation.....	29

<b>Partie IV : Modélisation sur Revit.....</b>	<b>30</b>
<b>I-Revit Architecture.....</b>	<b>31</b>
1) Les étapes de la construction.....	31
a) Créations des niveaux.....	31
b) Importation Autocad.....	32
c) Création des familles.....	32
d) Implantation des éléments architecturales.....	33
e) Elaboration des dalles .....	33
f) Implantation de la surface topographique.....	34
<b>II- Revit Structure.....</b>	<b>35</b>
1) Les étapes de la construction.....	35
a) Création des niveaux.....	35
b) Importation Autocad.....	36
c) Creation des éléments porteurs .....	36
d) Réalisation des escaliers.....	37
e) Elaborations des fondations.....	38
f) Modèle analytique.....	38
g) Exportation Revit vers Robot.....	39
<b>Partie V :Excel VBA.....</b>	<b>41</b>
I-Système de sécurité de notre application.....	42
II-Démarche de développement de notre application.....	43
<b>Partie VI : Etude d'un poteau.....</b>	<b>46</b>
I-Evaluation de charge.....	48
II- Calcul mené avec Excel.....	49
III-Calcul basé sur GRAITEC OMD 2018.....	51
<b>Partie VII : Etude d'une dalle pleine.....</b>	<b>52</b>
I-Evaluation des charges.....	53
II-Calcul mené avec Excel.....	54
<b>Parties VIII : Etude d'une poutre hyperstatique.....</b>	<b>56</b>
I-Prédimensionnement de la poutre.....	57
II-Evaluation de charge.....	57
III- Calcul mené avec Excel.....	59
<b>Partie IX : Etude d'un escalier à un seul palier.....</b>	<b>61</b>
I-Prédimensionnement de l'escalier.....	62
II-Calcul mené avec Excel .....	63

# Liste des figures

Figure 1 : Perspective de projet.....	8
Figure 2 : Façade Est.....	8
Figure3 : Plan de masse.....	9
Figure 4 : Plan sous-sol.....	9
Figure 5 : Plan rez-de-chaussée.....	10
Figure 6 : Plan 1 <sup>er</sup> étage.....	10
Figure 7 : Plan terrasse .....	11
Figure 8 :Traçage des axes.....	14
Figure 9 : Implantation des poteaux .....	15
Figure 10 : Plancher en corps creux.....	16
Figure 11 : Plancher en dalle pleine.....	17
Figure 12 : Présence des poteaux naissants .....	17
Figure 13 : Exemple d'ajout de poteaux .....	17
Figure 14 : Coupe transversale du plancher intermédiaire .....	27
Figure 15 : Coupe transversale du plancher terrasse .....	28
Figure 16 : Coupe transversale d'une dalle pleine .....	29
Figure 17 : Logo Revit .....	31
Figure 18 : Création des niveaux .....	31
Figure 19 : Importation plan sous-sol.....	32
Figure 20 : Edition d'une fenêtre .....	32
Figure 21 : Edition d'une porte.....	32
Figure 22 : Plan sous-sol.....	33
Figure 23 : Plan plafond sous-sol.....	34
Figure 24 : Surface topographique .....	34
Figure 25 : Création des niveaux .....	35
Figure 26 : Importation sous-sol.....	36
Figure 27 : Création des éléments porteurs .....	36
Figure 28 : Réalisation des escaliers .....	37
Figure 29 : Création des semelles isolées et filante .....	38
Figure 30 : Modèle analytique .....	39
Figure 31 : Exportation Revit vers Robot.....	40
Figure 32 : Page d'accueil Excel .....	43
Figure 33 : code de sécurité .....	44
Figure 34 : Démarche de calcul programmé.....	45
Figure 35 : Activation des macros.....	45
Figure 36 : Emplacement du poteau.....	48
Figure 37 : Caractéristiques des éléments.....	51

<b>Figure 38 : Résultat Excel obtenu.....</b>	<b>51</b>
<b>Figure 39 : Ferrailage du poteau P03 avec Advance BIM Designers 2018.....</b>	<b>52</b>
<b>Figure 40 : Emplacement du panneau de dalle pleine .....</b>	<b>54</b>
<b>Figure 41 : Caractéristiques de l'élément .....</b>	<b>55</b>
<b>Figure 42 : Résultat des moments agissasnts.....</b>	<b>55</b>
<b>Figure 43 : Section d'aciers dans les deux sens .....</b>	<b>56</b>
<b>Figure 44 : Vérification vis-à-vis cisaillements.....</b>	<b>56</b>
<b>Figure 45 : Emplacement de la poutre.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure 46 : Schéma mécanique de la poutre.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure 47 : Chargement de la poutre.....</b>	<b>60</b>
<b>Figure 48 : Diagramme des moments fléchissants.....</b>	<b>63</b>
<b>Figure 49 : Ferrailage de la poutre .....</b>	<b>64</b>
<b>Figure 50 : Coupe B-B de l'escalier .....</b>	<b>67</b>
<b>Figure 51 : Données de l'escalier.....</b>	<b>67</b>
<b>Figure 52 : Ferrailage de l'escalier.....</b>	<b>68</b>

# Liste des tableaux

Tableau 1: caractéristique du béton .....	27
Tableau 2:Plancher intermédiaire (16+5) .....	29
Tableau 3: tableau plancher terrasse (16+5).....	30
Tableau 4: plancher intermédiaire dalle pleine .....	31
Tableau 5 :Diffèrent chargement .....	31
Tableau 6 : Charges d'exploitation.....	32
Tableau 7:Charges dues au plancher de l'étage supérieur (quatrième étage).....	51
Tableau 8:Charges dues au plancher courant .....	52
Tableau 9:Descente de charges manuelle sur les poteaux P01 ET P03 (22X22) .....	52

# Introduction générale

Le projet de fin d'année est le couronnement d'une formation théorique. Il permet d'appliquer les connaissances acquises dans les différentes disciplines et les compléter par d'autres compétences telle que la maîtrise des logiciels de dessin et de calcul ainsi que l'étude de quelques éléments de structure particuliers pour l'élaboration d'un projet réel d'ingénierie.

Dans ce contexte, nous sommes chargés d'étudier, concevoir et dimensionner une structure en béton armée d'un immeuble à usage commerciale et bureautique située au centre-ville de Tunis.

Cette structure devrait répondre aux critères de fonctionnalité et d'intégration architecturale. Pour pouvoir réaliser cette étude, nous avons eu comme données de base : les différents plans d'architecture.

Tout au long de ce projet nous allons réaliser une étude complète de la structure dont elle comprend les parties suivantes :

- ✓ Conception de tout le projet à savoir choisir les différents éléments de la structure en tenant compte des contraintes architecturales, fonctionnelles, et esthétiques.
- ✓ Calcul manuelle de plusieurs éléments de structure.
- ✓ Calcul automatique de la structure en utilisant les logiciels : Arche ossatures , Robot structural Analysis et Revit afin de réaliser une comparaison entre le calcul manuel et le calcul automatique.

## **Partie I : Présentation du projet.**



## 1) Introduction

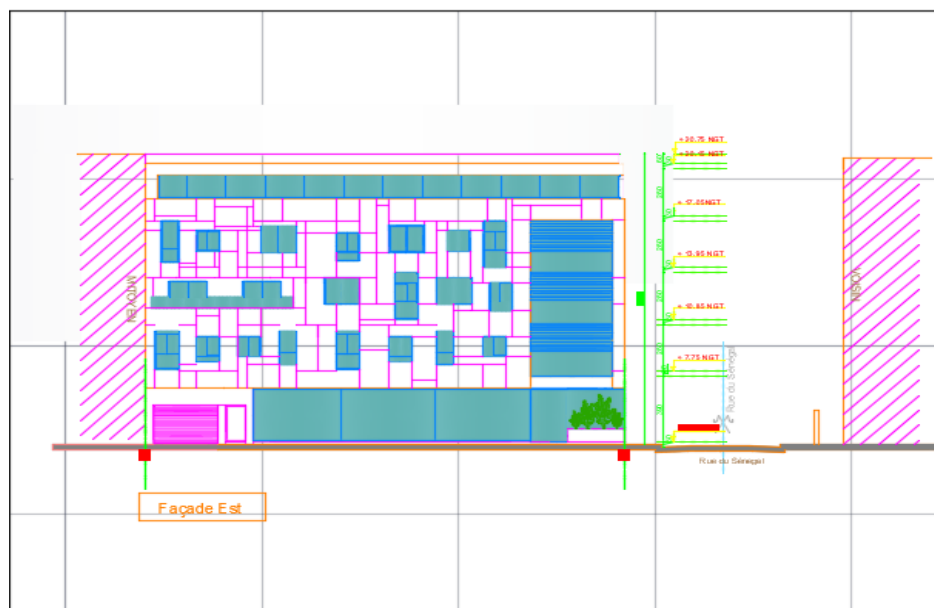
Le projet étudié est un immeuble en béton armé situé au centre-ville de Tunis à usage commercial et bureautique composé d'un sous-sol, un rez-de-chaussée commercial et de 4 étages (R+4).

Notre projet est composé d'un ascenseur qui débute du niveau rez-de-chaussée et deux escaliers pour assurer l'accès inter-étage.

Ci-après deux figures qui montrent la perspective du projet ainsi que la façade Est.



*Figure 1: Perspective du projet*



*Figure 2 : Façade Est*

## 2) Terrain d'étude :

Le terrain se situe à Lafayette, centre-ville de Tunis, il présente une surface totale de 509 m<sup>2</sup>.

Il est de forme quasi carré, délimité par deux immeubles (R+5) et (R+6) du côté sud-ouest et sud-est et par deux voies de 8m de deux cotés.

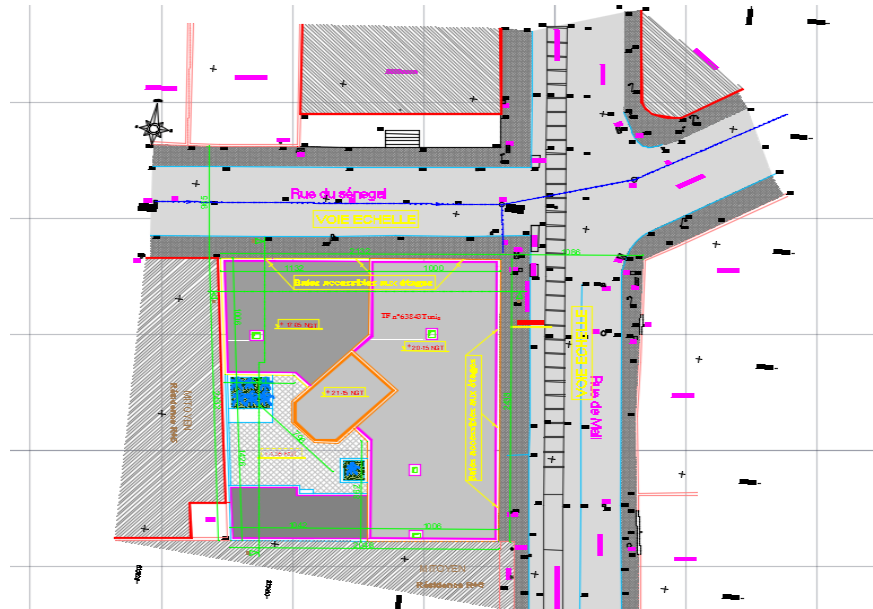


Figure 3: Plan de masse

## 3) Description des plans

### a) Sous-sol

Ce niveau s'étend sur une surface de 509 m<sup>2</sup> dont il comporte 12 places de parking, 7celliers et un local poubelle.

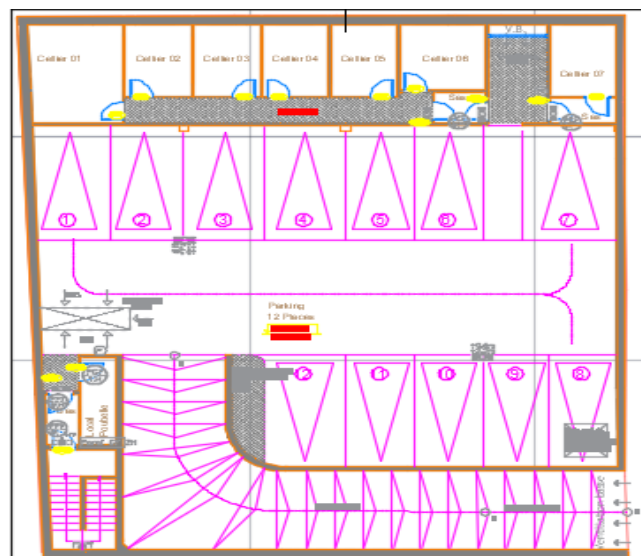
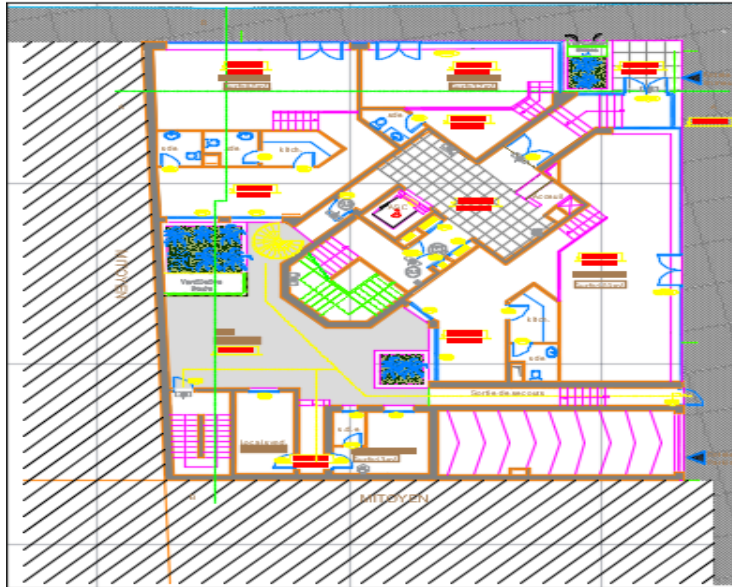


Figure 4: Plan sous-sol

### b) Rez-de-chaussée :

Il s'étend sur une surface de  $430\text{m}^2$ , il comporte 3 locaux commerciaux, un local syndicat et un loge gardien avec un espace vert de surface  $72\text{m}^2$ .

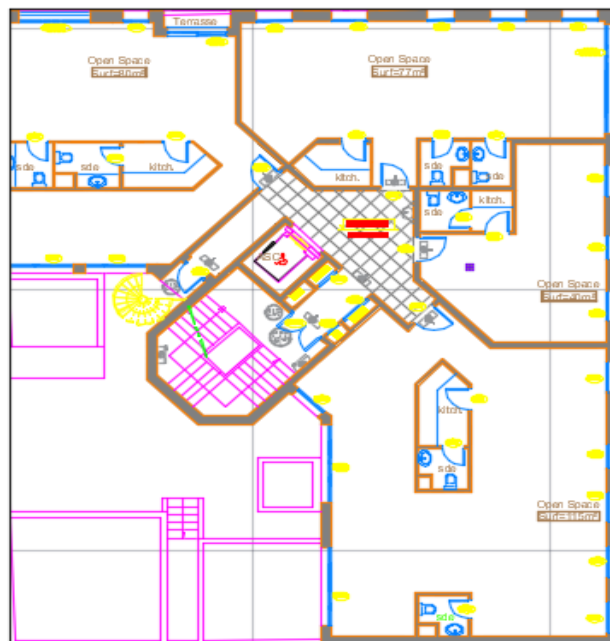


*Figure 5: Plan rez-de-chaussée*

### c) 1<sup>ère</sup> étage :

La surface totale est de  $385\text{m}^2$ , il comporte 4 open-spaces.

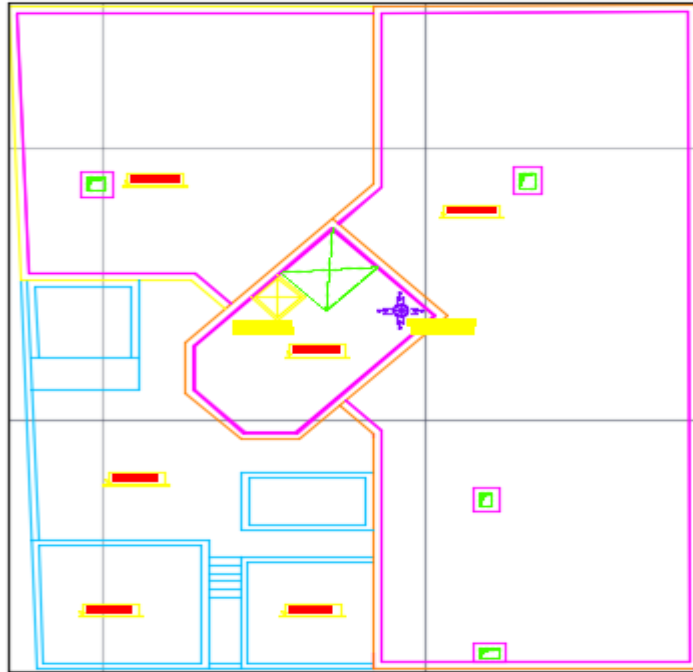
**Remarque : l'architecture du 1<sup>er</sup> étage est la même pour les 3 autres niveaux supérieurs.**



*Figure 6: Plan 1<sup>ère</sup> étage*

#### **d) La terrasse :**

Ce dernier niveau comporte le local technique de l'ascenseur, l'exutoire de fumée. Le reste de la terrasse renferme un espace vide inaccessible.



*Figure 7 : Plan terrasse*

#### **4) Conclusion :**

La lecture des plans architecturaux est une phase très importante pour la bonne conception du projet et avant de passer aux calculs de la structure et les évaluations des charges.

## **Partie II : Conception structurale.**

## **I) Conception structurale**

### **1) Introduction :**

La conception d'un projet est la tâche la plus importante et extrêmement complexes consiste à choisir le type de structure à adopter et résulte entre plusieurs facteurs :

- ✓ Techniques.
- ✓ Esthétiques.
- ✓ Économiques.
- ✓ Fonctionnelles.

Dont le concepteur doit trouver la meilleure solution de structure qui répond aux données imposées par l'architecture.

### **2) Choix du système poteaux-poutres :**

Pour notre projet, nous avons opté pour **le système poteaux- poutres** qui est le plus adéquat dans notre cas, pour sa facilité d'exécution ainsi que pour ses aspects de résistance et d'économie.

En effet, c'est le choix le plus répandu pour les cas des petites portées, ce qui correspond bien à notre présente étude.

Les poutres qui sont des éléments porteurs horizontaux en béton armé, leur rôle consiste essentiellement à supporter les charges transmises par le plancher. Il est notamment conseillé d'assurer le maximum possible la continuité des poutres pour minimiser le ferraillage utilisé et réduire les pertes et les chutes de l'acier. Les poutres doivent être résistantes, stables, et durables. Elles sont en liaison directe avec les poteaux, qui sont aussi des éléments fondamentaux de la structure, généralement verticaux. Ils reçoivent les charges et les transmettent aux fondations ou dans certains cas aux poutres ou au mur voile porteur, (on parle ici des poteaux implantés).

### **3) Le processus général :**

En effet, les principaux paramètres qui sont pris en compte sont :

- ✓ Le respect des normes concernant la portée des éléments porteurs horizontaux ainsi que l'élancement des éléments verticaux.
- ✓ La vocation des locaux et leurs fonctionnalités.
- ✓ Les charges permanentes et surcharges d'exploitation.
- ✓ La technologie, le fonctionnement et l'exploitation de l'ouvrage.
- ✓ Le respect des plans de l'architecte.

- ✓ La fonctionnalité des locaux.
- ✓ Le coût de mise en œuvre.

Généralement, les solutions se différencient d'un concepteur à un autre mais il doit réaliser un compromis entre le maximum de ces contraintes, tout en respectant le principe de minimisation du prix de revient.

#### 4) Les étapes de la conception :

##### 4.1- Traçage des axes

Lors du traçage des axes :

- ✓ On doit suivre le plan architectural imposé.
- ✓ On doit différencier entre l'axe d'un poteau et celui d'un mur ; L'axe du poteau est obtenu en s'éloignant du côté extérieur du mur vers l'intérieur et en laissant 2,5cm pour l'enduit extérieur et la moitié de la largeur de la poutre 11 cm, donc on doit toujours décaler de 13.5cm.

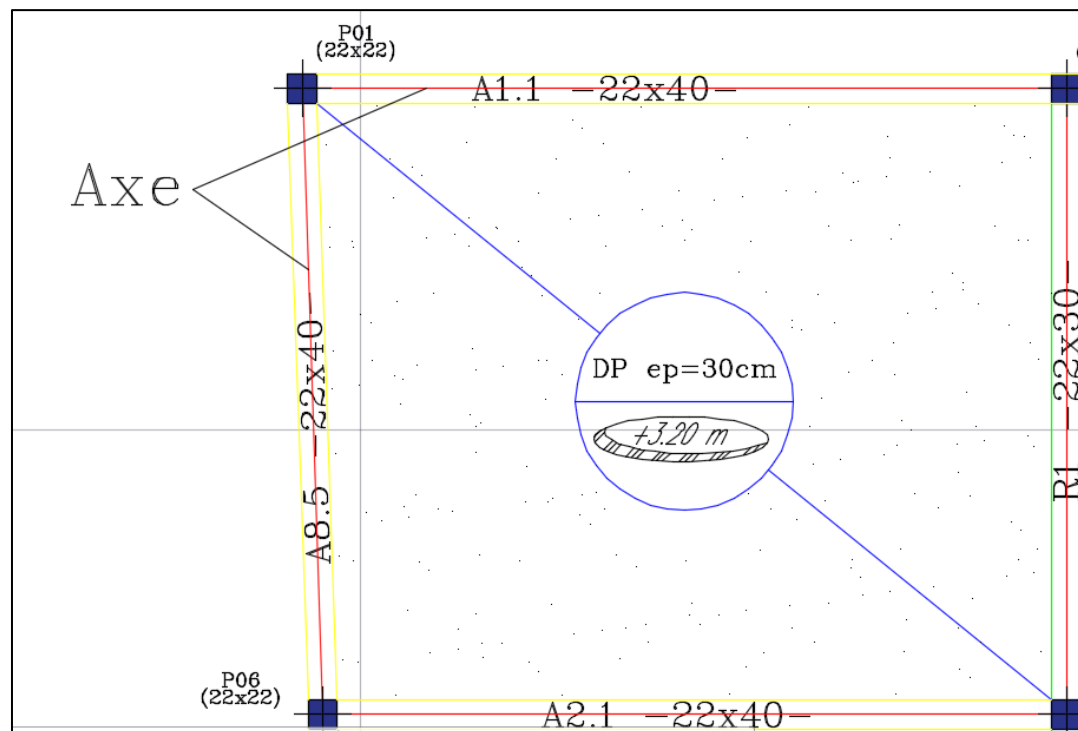


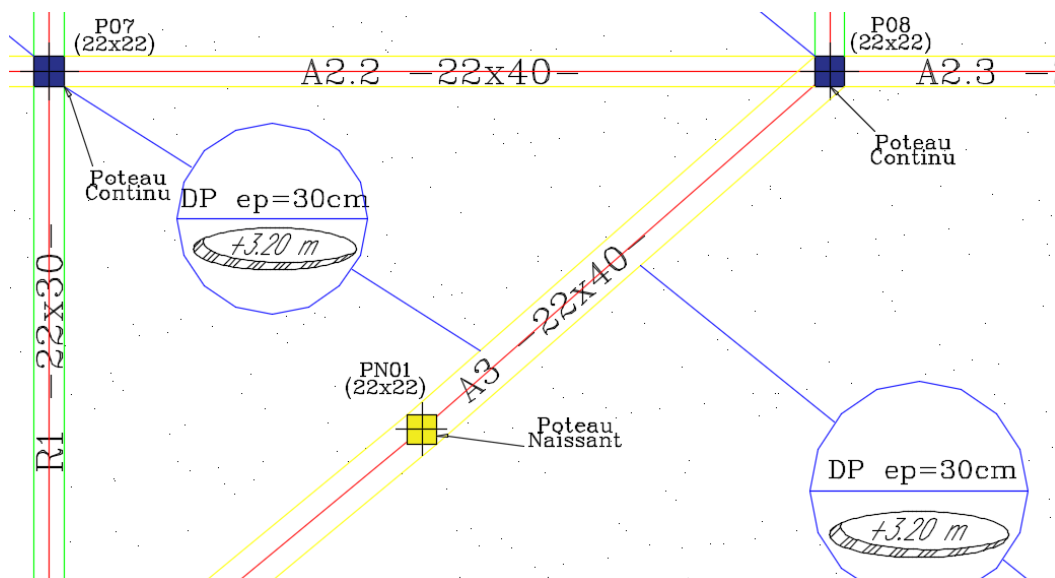
Figure 8 : Traçage des axes

## 4.2- Implantation des poteaux :

C'est une étape décisive dans la conception de n'importe quel projet puisque à partir de cette étape les autres éléments de la structure vont être réalisés. C'est pour cette raison qu'on a passé un temps assez long à étudier les différentes circonstances pour bien placer les poteaux.

Nous avons opté pour l'emplacement des poteaux suivant les critères suivants :

- ✓ Encastrer les poteaux aux angles et dans les cloisons en contrôlant la portée entre eux pour éviter les retombées des poutres dans les locaux.
- ✓ Certains poteaux sont implantés de manière qu'ils soient entièrement cachés dans les doubles cloisons ou camouflés dans les coins des pièces et au même temps superposé pour la partie commune des autres niveaux.
- ✓ Avoir une superposition entre les différents niveaux.
- ✓ Les axes des poteaux doivent correspondre aux centres d'une section (22x22). Ensuite, les sections définitives seront déterminées après l'élaboration de la descente des charges réelles.
- ✓ Avoir un alignement des poteaux, pour avoir un alignement et une continuité des poutres sans oublier le côté esthétique de l'ouvrage.
- ✓ Éviter l'utilisation des poteaux naissants mais les contraintes architecturales nous obligent d'utiliser des poteaux implantés.



**Figure9: Implantation des poteaux**



#### 4.3- Choix des poutres :

Une fois les poteaux sont implantés, on les a reliés avec des poutres dont leur sens est choisi de telle sorte d'obtenir des nervures portant dans le sens de la petite dimension du panneau du plancher pour des raisons économique sans oublier d'éviter les retombées à l'intérieur de locaux (de manière qu'elles soient entièrement cachées par les doubles cloisons ou camouflées par les cloisons intérieures).

#### 4.4- Choix des planchers :

Le choix du type du plancher est lié essentiellement :

- à la nature de l'usage.
- la répartition des charges
- les longueurs des travées
- aux critères entrant en jeu dans l'objectif de sélectionner un choix optimal.

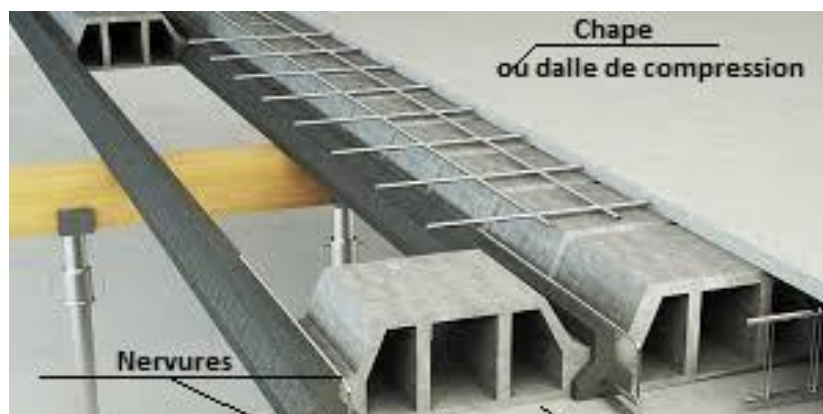
Le projet qu'on est en train d'étudier fait intervenir 2 types de planchers, dont on va citer le domaine d'utilisation et les conditions nécessaires ainsi que les avantages et les inconvénients de chaque type de plancher.

##### 4.4.1- Plancher en corps creux :

Le plancher à corps creux est un plancher très utilisé en Tunisie, grâce à sa facilité d'exécution et à son coût moins élevé par rapport à d'autres types de planchers.

Il est constitué de :

- Corps creux (hourdis ou entrevous): utilisés comme coffrage perdu.
- Nervures : reposant de part et d'autre sur les poutres et coulés sur place.
- Chape de béton : une dalle de petite épaisseur qui permet la transmission et la répartition des charges aux nervures et qui est coulée sur place.



*Figure 10 : Plancher en corps creux*

- **Les avantages :**

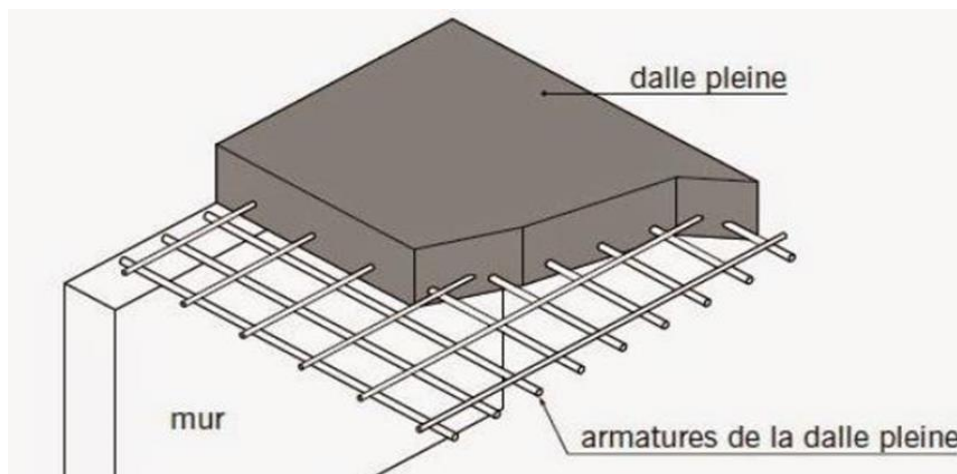
- Mise en œuvre facile, pas de coffrage,
- Le plancher est relativement léger,
- Isolation thermique améliorée.

- **Les inconvénients :**

- Portée limitée à 8 mètres,
- Mauvaise isolation acoustique,
- Mise en œuvre relativement longue.

#### 4.4.2- Plancher en dalle pleine :

C'est un plancher en béton armé, dont l'épaisseur est déterminée à partir des conditions de vérification. Ce type de plancher porte dans deux sens comme il peut porter dans un seul sens seulement. Les diamètres des armatures et leurs nombres dépendent des chargements permanents et d'exploitation, appliqués sur le plancher.



*Figure 11: Plancher en dalle pleine*

- **Les avantages :**

- Facile à calculer et à mettre en œuvre,
- Peu déformable,
- Grandes portées,
- Isolation acoustique,
- Inertie thermique.

- **Les inconvénients :**

- Retombée des poutres
- Poids important

#### **4.5- Choix des longrines :**

Les longrines sont des éléments en béton armé qui assurent la liaison entre les pré-poteaux, et augmentent par conséquent la rigidité de la structure. Ces éléments participent en fait à minimiser les risques de tassements différentiels qui peuvent compromettre à la tenue des éléments de la structure, des murs et des cloisons, elles sont conçues aussi pour raidir les poteaux en diminuant le risque de flambement. Les longrines sont calculées tout en adoptant le même mode de calcul appliqué pour les

poutres et en prenant comme hauteur  $h$  vérifiant  $\frac{h}{l} \geq \frac{L}{22.5}$

- ✓ On choisit une hauteur commune pour toutes les longrines pour avoir le même coffrage, et la même hauteur des différents poteaux.
- ✓ Les longrines reposent sur une couche de béton de propreté de 5 à 10 cm d'épaisseur.
- ✓ Pour les longrines de grandes portées, on prévoit des appuis intermédiaires tels que des dés ou des semelles isolées.
- ✓ On emploie des appuis (dés) au niveau des croisements des longrines en absence de semelles.

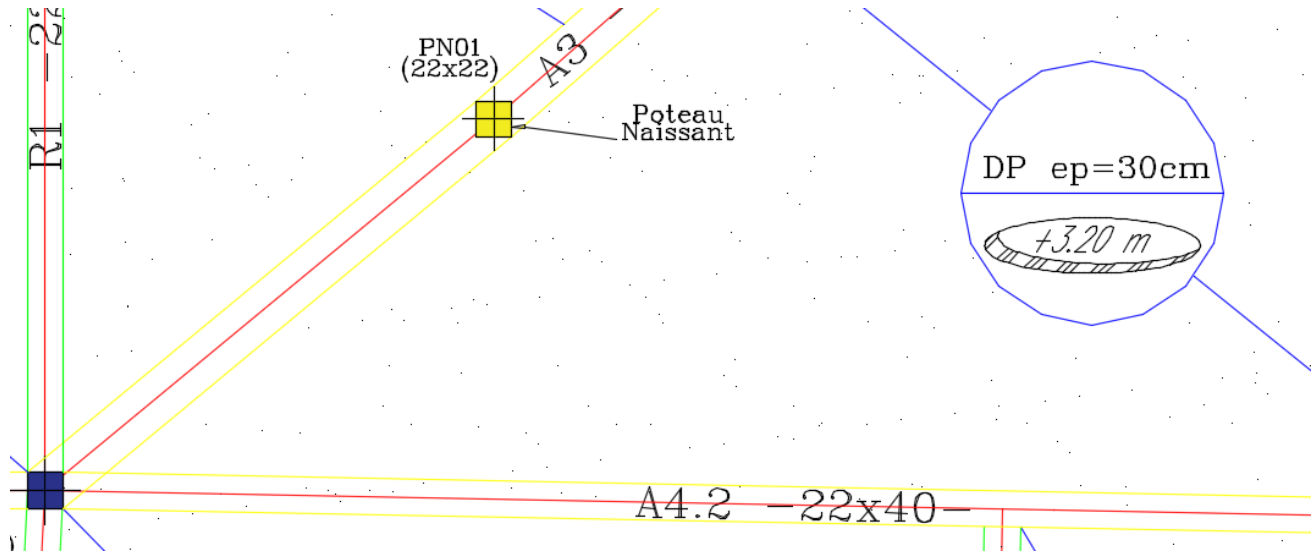
### **5) Conception de l'infrastructure :**

La détermination du type de la fondation est conditionnée par la capacité portante du sol, la valeur des charges transmises et le tassement admissible. L'examen des résultats fournis par le rapport géotechnique nous a permis d'envisager des fondations superficielles sur des semelles isolées et filant.

## 6) Contraintes architecturales :

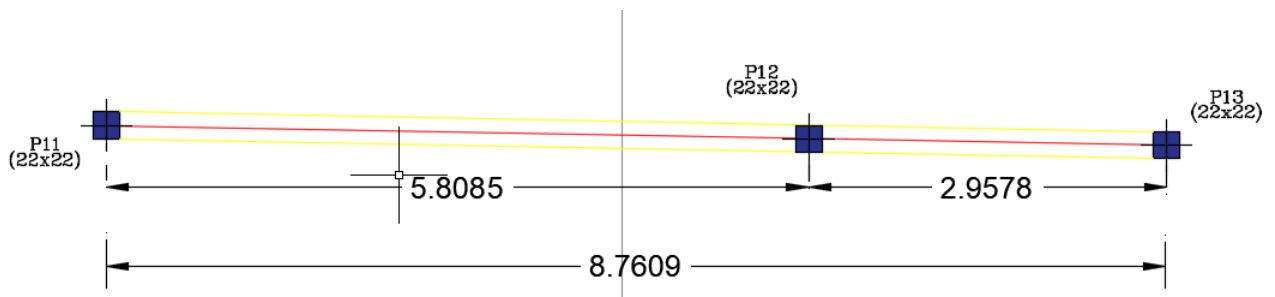
Vue l'irrégularité de l'architecture nous avons confronté des problèmes majeurs tels que :

- Le changement d'architecture d'un étage à un autre nous conduit à concevoir des poteaux naissants.



*Figure 12: Présence des poteaux naissants*

- De grandes portées des poutres avec un nombre limité des poteaux (pour ne délayer pas l'esthétique architecturale) ainsi que les charges importantes nous avons été obligé d'ajouter d'autres appuis (poteaux).



*Figure 13: Exemple d'ajout de poteaux*

- Le parking au niveau de sous-sol : le sous-sol est un parking, qui exige un choix judicieux des endroits des poteaux pour ne pas gêner ni circulation ni le stationnement des voitures. La disposition des poteaux est limitée à cause de la présence de la voie de circulation de largeur 5.2m. De ce fait, nous avons choisi de disposer une file de poteaux de part et d'autre de celle-ci et relier les poutres de longueur > 5m. Les problèmes rencontrés au niveau du sous-sol nous ont obligé, dans certains cas de faire recourt aux poteaux naissants puisque les étages ne sont pas identiques.

## **7) Elaboration des plans de coffrages et nomenclatures :**

### **Poteaux :**

Ils sont repérés par la lettre majuscule P, suivie d'un numéro.

Exemple P1, P2 ...

### **Poutres :**

Elles sont repérées par la lettres majuscule « A » suivie d'un numéro et on indique la section entre parenthèse. En précisant dans l'ordre suivant : La largeur et la hauteur totale de la poutre en centimètre.

Exemple : A1.1(22x50).

### **Raidisseur :**

Ils sont repérés par la lettre majuscule R, suivie d'un numéro et on indique la section entre parenthèse. En précisant dans l'ordre suivant : La largeur et la hauteur totale de la poutre en centimètre.

Exemple : R1 (22x20).

### **Nervure :**

Elles sont repérées par la lettre majuscule N avec Type de plancher.

Exemple : N1(16+5)

### **Longrines :**

Elles sont repérées par la lettre majuscules L suivie d'un numéro et on indique la section entre parenthèse.

Exemple : L1 (22x50).

### **Semelles :**

Elles sont repérées par la lettre majuscule S.

Exemple : S1 (0.70m x 0.70m)

## **8) Conclusion :**

Au cours de ce chapitre, on a choisi les systèmes porteurs et les types de planchers adéquats après avoir cité les différentes contraintes architecturales et exigences structurales propres à notre projet.

## **Partie III : Hypothèse de calcul et évaluation de charge.**

## **Introduction :**

Dans cette partie, on va s'intéresser à la présentation du cadre normatif des calculs, ensuite aux caractéristiques des matériaux utilisés plus précisément le béton et l'acier, et finalement, on va détailler les hypothèses de calcul et l'évaluation des charges.

### **I) Règlements et normes de calcul :**

Pour le calcul des éléments constituant un ouvrage, on se base sur des règlements et des méthodes connues comme l'indique le règlement du BAEL91, révisées 99 (DTU P18-702) (mars 1992, février 2000) qui s'appuie sur la connaissance des matériaux (béton et acier) et le dimensionnement, le ferrailage des éléments résistants de la structure, les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites. (Jean ROUX, Jean PERCHAT) Les charges permanentes sont déterminées en fonction de l'utilisation de chaque pièce dans la norme NF P06-004. Les charges d'exploitation sont déterminées en fonction de l'utilisation de chaque pièce dans la norme NF P06-001.

#### **1- Unités à utiliser :**

Les unités du système international (SI) seront utilisées conformément à l'ISO 1000.

Pour les calculs, nous utiliserons :

- ✓ Forces et charges KN, KN/m, KN/m<sup>2</sup>
- ✓ Masse volumique Kg/m<sup>3</sup>
- ✓ Poids volumique KN/m<sup>3</sup>
- ✓ Contraintes et résistances N/mm<sup>2</sup>, MN/m<sup>2</sup> ou MPa
- ✓ Moments fléchissant KN.m

### **II) Caractéristiques des matériaux :**

#### **1) Béton armé :**

Le béton est un matériau constitué par le mélange de ciment, granulats (sable, gravillons), eau de gâchage et adjuvants. Le matériau ainsi obtenu sera coulé et son durcissement aura les qualités suivantes :

- ✓ La résistance mécanique, essentiellement résistance à la compression simple, et pour certains usages spéciaux, la résistance à la traction.
- ✓ La résistance aux agents agressifs, eau de mer, acides, etc.,
- ✓ Les déformations instantanées, que l'on souhaite généralement les plus faibles possible.



- ✓ La maniabilité au moment de la mise en œuvre, qui peut être définie comme l'aptitude du béton à remplir parfaitement le moule qui lui est offert sans ségrégation.

Dans un mètre cube de béton, on a les proportions suivantes :

- Ciment (CEM) dosé à 350kg /m<sup>3</sup> dosage pour les éléments porteurs.
- Ciment (HRS) dosé à 300kg /m<sup>3</sup> dosage pour la fondation.
- Sable grossier :  $0 < D_g < 5\text{mm}$
- Gravier:  $15 < D_g < 25\text{mm}$
- Eau de gâchage 175 L

Prenant en compte que :

- Dosage en ciment : 350 kg /m<sup>3</sup>.
- Le gros béton est dosé à 250Kg/m<sup>3</sup>.
- Le béton de propreté est dosé à 150Kg/m<sup>3</sup>.

#### a) La masse volumique du béton :

La masse volumique du béton varie entre 22 kN/m<sup>3</sup> et 24 kN/m<sup>3</sup>. On considère réglementairement que la masse volumique du béton armé est de 25 kN/m<sup>3</sup>.

#### b) La résistance du béton à la compression :

Le béton est caractérisé par sa bonne résistance à la compression  $f_{cj}$  à j jours d'âge et déterminée à partir d'essais sur des éprouvettes normalisées de 16 cm de diamètre et de 32cm de hauteur.

La résistance caractéristique à la compression  $f_{cj}$  à l'âge de j jours, est :

##### ➤ Pour j < 60 jours :

$$\circ f_{ck} = \frac{j}{4.76 + 0.83j} \times f_{c28} \text{ pour } f_{c28} \leq 40\text{MPa}$$

$$\circ f_{ck} = \frac{j}{1.4 + 0.95j} \times f_{c28} \text{ pour } f_{c28} > 40\text{MPa}$$

##### ➤ Pour j > 60 jours :

$$\circ f_{ck} = 1.1 \cdot f_{c28}$$

$f_{c28}$  : La résistance caractéristique du béton à l'âge de 28 jours.

- Pour un dosage courant de 350 Kg/m<sup>3</sup> de ciment CPA, la résistance caractéristique à la compression à 28 jours est estimée à :
  - $f_{c28}=25 \text{ MPa}$  pour la fondation et pour la superstructure.

**c) La résistance du béton à la traction :**

La résistance caractéristique à la traction du béton à j jours, notée  $f_{tj}$ , est conventionnellement définie par les relations :

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{tj}=0.6 + 0.06f_{c28} \text{ Si } f_{c28} \leq 60 \text{ MPa} \\ f_{tj}= 0.275 \times (f_{cj})^{\frac{2}{3}} \text{ Si } f_{c28} \geq 60 \text{ MPa} \end{array} \right\}$$

➤ **Pout t =28 jours :**

- $f_{t28}=0.6+0.06 \times 25$
- $f_{t28}=2,1 \text{ MPa}$

**d) La déformation longitudinale du béton :**

➤ **Module de déformation instantanée :**

Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24 heures, le module de déformation longitudinal instantané du béton  $E_i$  est égal à :

- $E_i = 11000 \times \sqrt[3]{f_{cj}}$

Pour j=28 jours :

$$E_{i28} = 11000 \times \sqrt[3]{25} = 32164.195 \text{ MPa}$$

➤ **Module de déformation différée :**

Sous des contraintes de longue durée d'application on admet qu'à l'âge de « j » jours le module de déformation longitudinal différée du béton  $E_{vj}$  est égale à :

- $E_{vj} = 3700 \times \sqrt[3]{f_{cj}}$

Pour j=28 jours :

$$E_{v28} = 3700 \times \sqrt[3]{25} = 10818.866 \text{ MPa}$$

### e) Les contraintes limites :

#### ➤ Etat limite ultime (ELU) :

La contrainte admissible de compression à l'ELU est donnée par :

$$\circ \quad f_{bu} = \frac{0.85 \times f_{cj}}{\theta \times \gamma_b}$$

**$\gamma_b$ : Coefficient de sécurité du béton.**

- $\gamma_b=1.5$  Pour les cas généraux.
- $\gamma_b=1.15$  Pour les cas accidentels.

**$\theta$ : Coefficient d'application du béton**

- $\theta= 1$  pour une durée >24h
- $\theta=0.9$  si  $1h < \text{la durée} < 24h$
- $\theta=0.85$  pour une durée <1h

#### ➤ Etat limite service (ELS) :

La contrainte admissible de compression à l'état limite de service (ELS) est donnée Par :

$$\circ \quad \bar{\sigma}_{bc} = 0.6 \times f_{c28}$$

**Pour  $f_{c28}=25\text{MPa}$  :**

$$\circ \quad \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

Voici un tableau récapitulatif :

	Formules	Résultats
La résistance caractéristique à la compression à 28 jours (MPa)	-----	25
La résistance caractéristique à la Traction à 28 jours (MPa)	$F_{t28}=0.6+0.06f_{c28}$	2.1
Le module de déformation Longitudinale instantanée (MPa)	$E_{i28}= 11000 \times \sqrt[3]{f_{c28}}$	32164.195
Le module de déformation Longitudinale différée (MPa)	$E_{v28}=3700 \times \sqrt[3]{f_{c28}}$	10818.866
La contrainte admissible de compression à l'ELU (MPa)	$f_{bu} = \frac{0.85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b}$	14.16
La contrainte admissible de compression à l'ELS(MPa)	$\bar{\sigma}_{bc}= 0.6 \times f_{c28}$	15

**Tableau 1: caractéristique du béton**

➤ **Conditions de fissuration :**

La fissuration est peu préjudiciable pour la superstructure, très préjudiciable pour la fondation.

➤ **Enrobage (e) :**

- Élément en élévation : e = 2.5 cm
- Élément en fondation : e = 5 cm

**f) Acier :**

L'acier est un alliage du fer et du carbone. Le pourcentage de Carbone est de 0,5% à 2%, et en fonction de ce pourcentage on peut définir plusieurs qualités. Leur rôle est de résister aux efforts de traction, de cisaillement et de torsion. Sa température de fusion varie de 1400 à 1600°, la densité varie entre 7, 8 à 7, 9 kg/m<sup>3</sup>.

Sa limite d'élasticité garantie est désignée par  $f_e$ . On a utilisé les nuances d'acier suivantes :

- Acier Ha FeE400 ( $f_e=400$  MPa) pour les armatures longitudinales et transversales des éléments de la structure.

Le module d'élasticité longitudinal de l'acier est pris égal à :  $E_s = 200\,000$  MPa

### a) Contraintes limites :

Les contraintes sont proportionnelles aux déformations :

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Avec  $\gamma_s$  : est le coefficient de sécurité tel que :

- $\gamma_s = 1$  dans le cas accidentel.
- $\gamma_s = 1,15$  dans le cas durable ou transitoire  $\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$

### b) L'état limite de service :

On ne limite pas la contrainte de l'acier sauf en état limite d'ouverture des fissures :

- Fissuration peu préjudiciable: pas de limitation
- Fissuration préjudiciable :

$$\sigma_{st} < \bar{\sigma}_{st} = \text{Min} (23.f_e ; 110\sqrt{\eta f_{tj}})$$

$$\bar{\sigma}_{st} = \text{Min} (266,66; 201,63)$$

$$\bar{\sigma}_{st} = 201,63 \text{ MPa}$$

- Fissuration très préjudiciable :

$$\sigma_{st} < \bar{\sigma}_{st} = \text{Min} (12.f_e ; 90\sqrt{\eta f_{tj}})$$

$$\bar{\sigma}_{st} = \text{Min} (200; 164,97)$$

$$\bar{\sigma}_{st} = 164,97 \text{ MPa}$$

$$\eta: \text{Coefficient de fissuration} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \eta=1 \text{ Pour les ronds lisses RL.} \\ \eta = 1,6 \text{ Pour les armatures à haute adhérence HA.} \end{array} \right\}$$

### III) Evaluation des charges :

#### 1) Evaluation des charges permanentes

Ce sont les charges qui ne varient pas au cours du temps, elles sont généralement constituées par le poids propre du plancher, des cloisons et des revêtements divers.

##### a) Plancher en corps creux :

Le plancher en corps creux est le plus répandu dans les bâtiments à usage d'habitation. Il se distingue par son coût raisonnable, la facilité de sa mise en œuvre. Le choix du type de corps creux est dicté par les dimensions des espaces à couvrir, l'épaisseur est déterminée en fonction des portées des nervures.

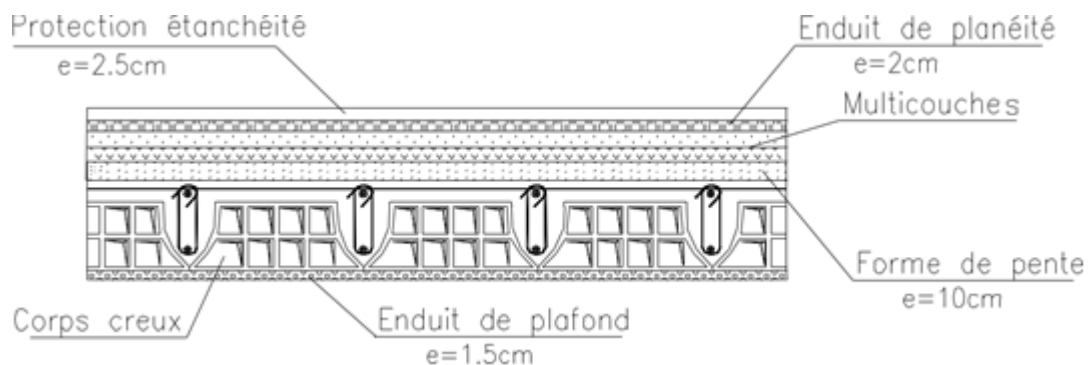
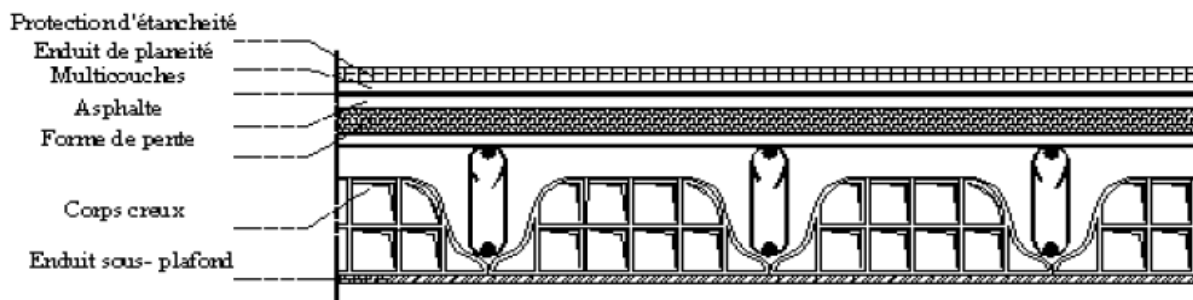


Figure 14: Coupe transversale du plancher intermédiaire

Désignation	Charge (daN/m <sup>2</sup> )
Carrelage (2.5cm)	55
Mortier de pose (2cm)	44
Sable de pose (5cm)	51
Enduit sous plafond (1.5cm)	33
Cloisons légères	100
Coprs creux +chape	285
Total G	568

Tableau 2:Plancher intermédiaire (16+5)



**Figure 15: Coupe transversale du plancher terrasse**

Désignation		Charge (daN/m <sup>2</sup> )
Corps creux + chape		285
Enduit sous plafond		33
Forme de pente		35
Etanchéité	Asphalte sablé	50
	Multicouche	10
	Enduit de planéité	33
Protection de l'étanchéité		55
Total G		501

**Tableau 3: tableau plancher terrasse (16+5)**

### b) dalle pleine :

Les éléments constitutifs du plancher intermédiaire en dalle pleine sont mentionnés sur la figure ci-dessous :

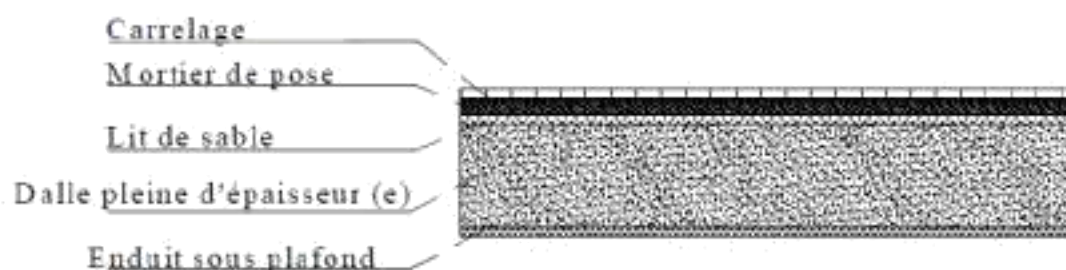


Figure 16: Coupe transversale d'une dalle pleine

Désignation	Charge( $\text{daN/m}^2$ )	Total ( $\text{daN/m}^2$ )
Carrelage(2.5cm)	55	
Mortier de pose (2cm)	44	
Sable de pose (5cm)	51	
Enduit sous plafond (1.5cm)	33	
Cloisons légères	100	
Dalle pleine (25 cm)	625	868
Dalle pleine (30 cm)	750	993

Tableau 4: plancher intermédiaire dalle pleine

## 2) Evaluation des charges des murs, acrotères et cloisons :

Désignation	Chargement ( $\text{daN/m}^2$ )
Vitrage	700 ( <b><math>\text{daN/ml}</math></b> )
Mur de 15 cm d'épaisseur	150
Mur de 20 cm d'épaisseur	200
Mur de 45 cm d'épaisseur	450
Mur de double cloison (35cm)	500
Acrotère	300

Tableau 5 :Différent chargement



### 3) Evaluation des charges d'exploitation :

Désignation	Chargement( $\text{daN/m}^2$ )
Escalier d'habitation	400
Balcon	350
Dépôt de matériels et locaux commerciaux	400
Habitations	150
Terrasses accessibles	150
Terrasses inaccessibles	100
Parking	250
Hall	400
Locaux techniques	400

**Tableau 6 : Charges d'exploitation**

### Conclusion :

Au cours de ce chapitre, on a défini les hypothèses de calculs et les chargements nécessaires, ce qui nous permet de passer à la phase de modélisation du projet et le calcul des éléments.

## **Partie IV: Modélisation sur Revit.**

## Introduction

Le logiciel d'Architecture et de conception de bâtiments Revit a été conçu spécifiquement pour la modélisation des informations du bâtiment (technologie BIM) et comprend notamment des fonctionnalités pour la conception architecturale, l'ingénierie MEP, l'ingénierie structure et la construction.



Figure 17:Logo Revit

### I) Revit architecture :

Dans cette partie on va s'intéresser à la présentation des fonctionnalités d'Autodesk Revit Architecture telles qu'on les utilise tout au long du processus de conception. On va commencer par vous familiariser avec l'interface Revit et les outils de base de dessin, d'édition et de visualisation tout au long du développement de la conception. Les outils spécifiques à Revit Architecture se trouvent dans l'onglet « Architecture ».

#### 1) Les étapes de la construction :

##### a) Création des niveaux :

L'outil Niveau permet de définir un étage ou une hauteur verticale à l'intérieur d'un bâtiment. On crée un niveau pour chaque étage identifié ou référence requise pour le bâtiment (par exemple, le premier étage, le haut d'un mur ou le bas d'une fondation).

Pour ajouter des niveaux, on doit se trouver dans une vue en coupe ou d'élévation. Lors de l'ajout de niveaux, on peut créer une vue en plan associée.

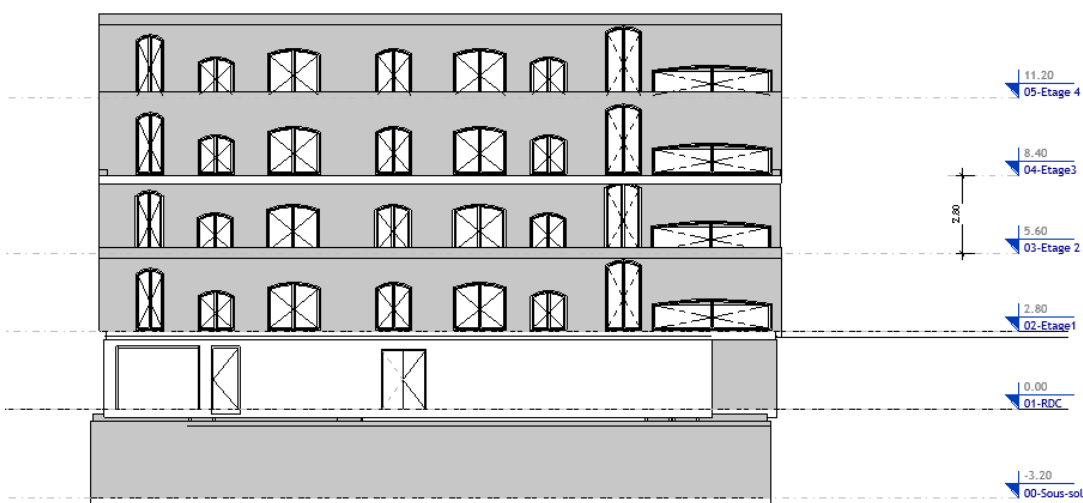


Figure 18:Creation des niveaux

## b) Importation Autocad :

En utilisant l'outil importer CAO pour importer des données vectorielles d'autres programmes de CAO.

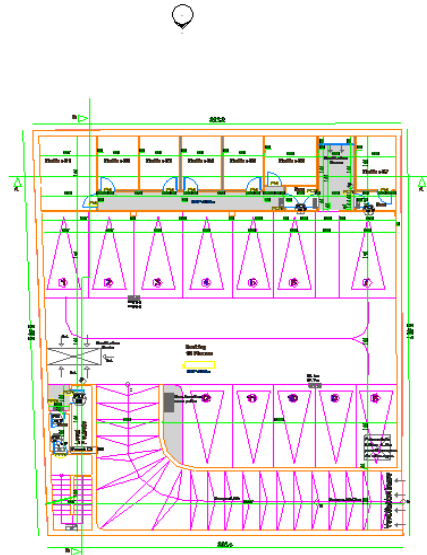


Figure 19: Importation plan sous-sol

## c) Création des familles

Pour la création des familles, Revit nous permet de travailler avec l'édition des familles si on a le type de dessin concerné ou par télécharger des familles de la bibliothèque Revit pour accéder à d'autres choix.

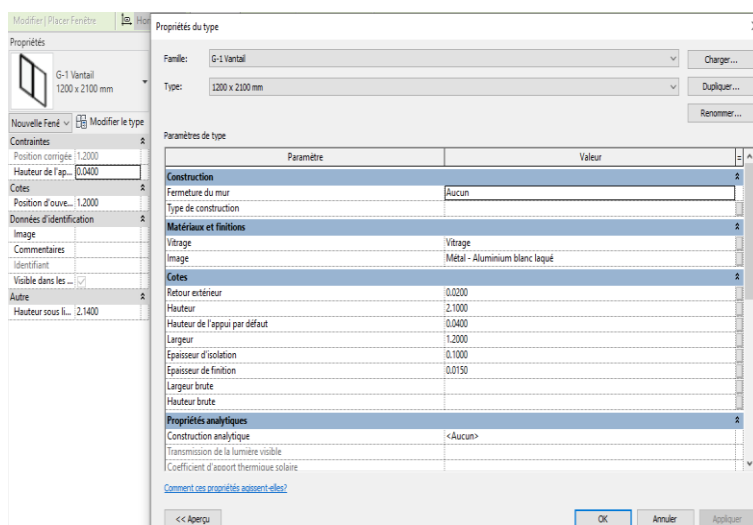


Figure 20: Edition d'une fenêtre

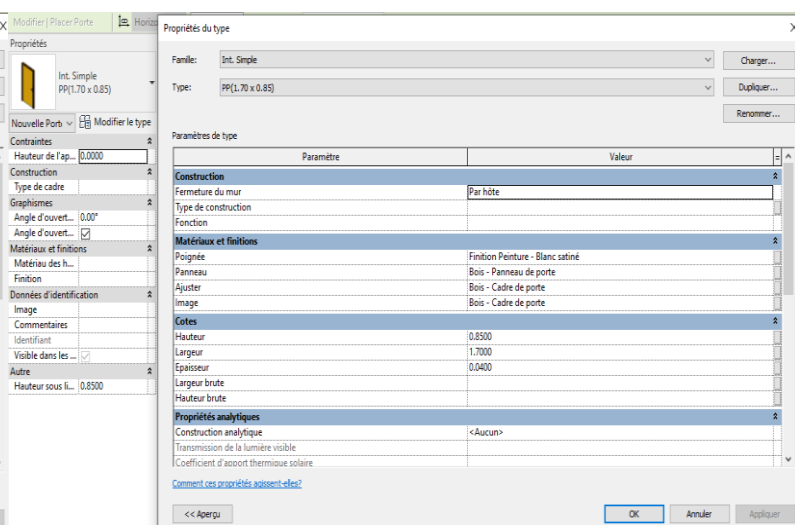


Figure 21: Edition d'une porte

#### d) Implantation des éléments architecturaux :

En se basant sur les étapes précédentes et en se référant à ce qui a été imposé par l'architecte au niveau du plan Autocad nous avons entamé la partie la plus importante intitulée implantation des éléments architecturaux présente dans la figure ci-dessous :

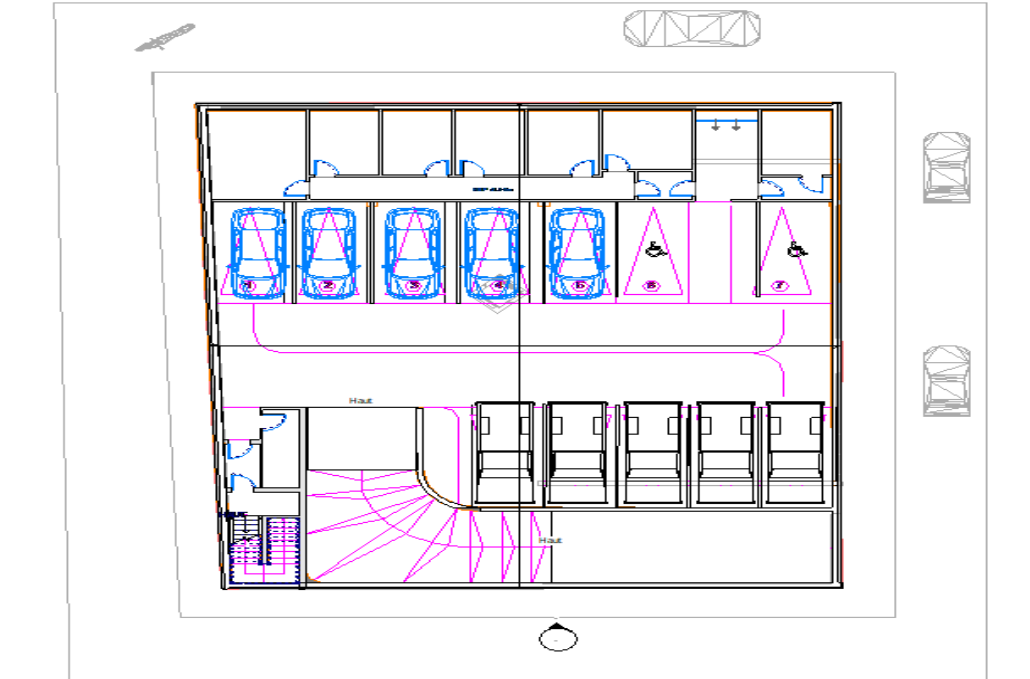


Figure22: Plan étage sous-sol

#### e) Élaboration des dalles :

Après avoir fait les éléments architecturaux, nous avons créé des dalles pour chaque étage dans l'arborescence plan plafond comme présente dans la figure ci-dessous :

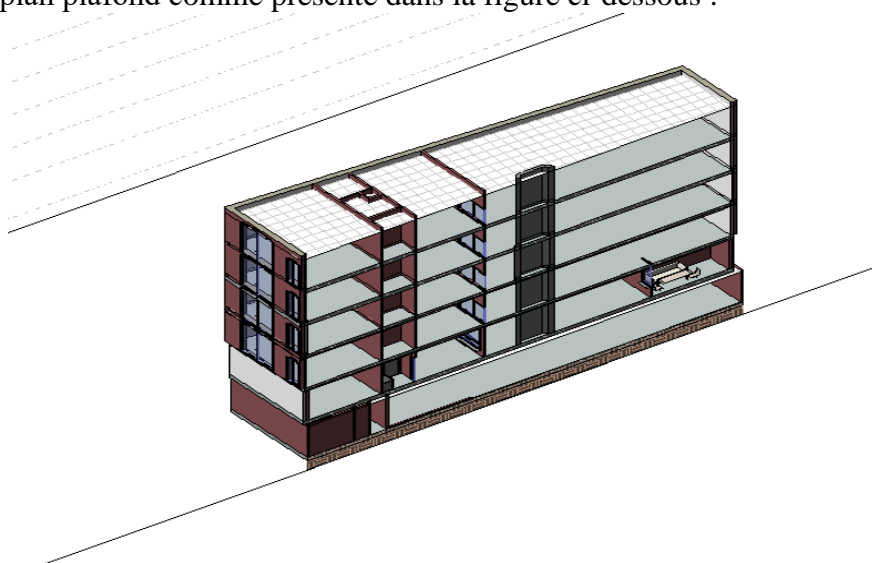


Figure23:Plan plafond sous-sol

**f) Implantation de la surface topographique :**

Créez une surface topographique dans le modèle Revit défini une surface topographique à l'aide de points ou de données importées. Les surfaces topographiques peuvent être créées dans les vues 3D et les plans de sites pour donner une empreinte réel pour la modélisation architecturale .



**Figure 24:Surface topographique**

## II) Revit structure :

Il s'agit du deuxième pilier du pack Revit il traite l'analyse de la structure civile. On peut appliquer différents types de charges, on peut voir l'effet sur la structure et identifier les zones faibles qui peuvent être améliorées dans la conception. Les outils spécifiques à Revit Structure se trouvent dans l'onglet « Structure ». Ils concernent également l'environnement bâti mais incluent des outils d'analyse et de présentation graphique des charges dans la structure.

### 2) Les étapes de la construction :

#### a) Création des niveaux

Cette partie est différente à celle de revit architecture puisqu'elle comporte un niveau primordiale dans notre conception qui est le niveau fondation où on va élaborer les fondations superficielles de notre structure.

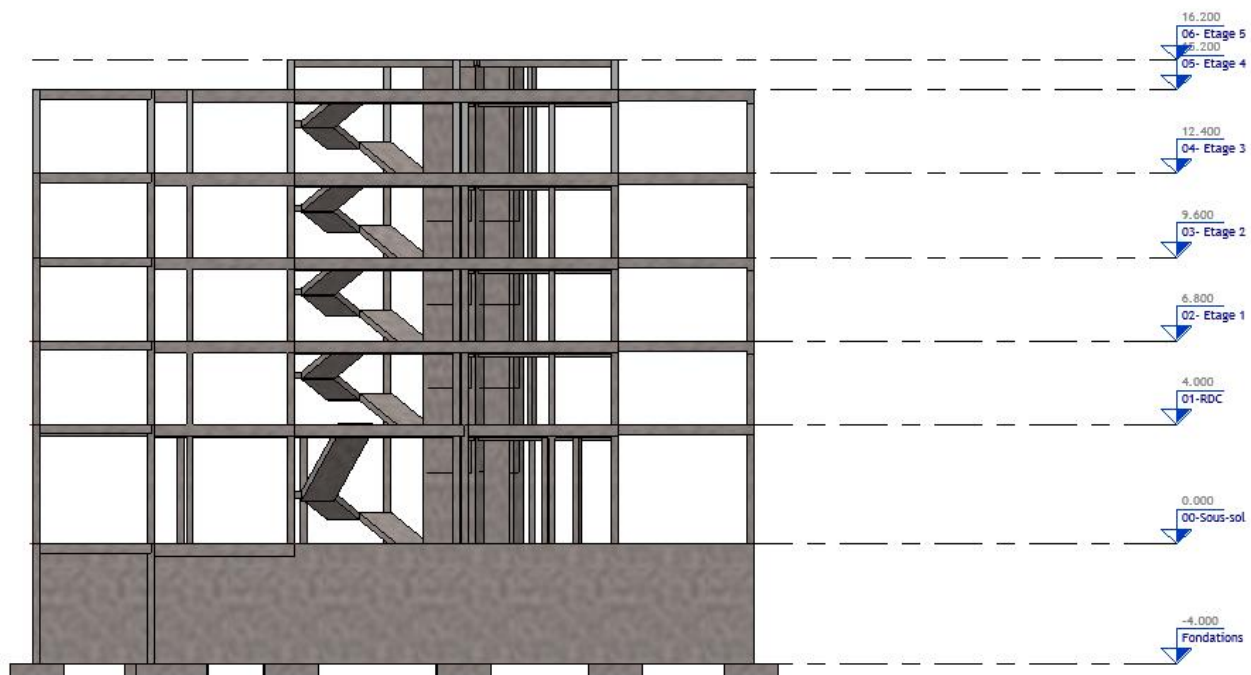


Figure25:création des niveaux

### b) Importation Auto CAD :

En utilisant l'outil importer CAO pour importer des données vectorielles d'autres programmes de CAO tout en conservant l'origine des plans pour assurer leur superposition.



Figure26:Importation plan sous-sol

### c) Création des éléments porteurs :

Pour cette étape il fallait juste suivre les détails du plan de coffrage en introduisant les éléments porteurs en accrochage 2D ou 3D.



Figure27:Création des éléments porteurs



#### d) Réalisation des escaliers

Lors de la création d'un assemblage d'escalier, créez un composant de volée ou de palier personnalisé en esquissant la forme à l'aide de l'outil sol.

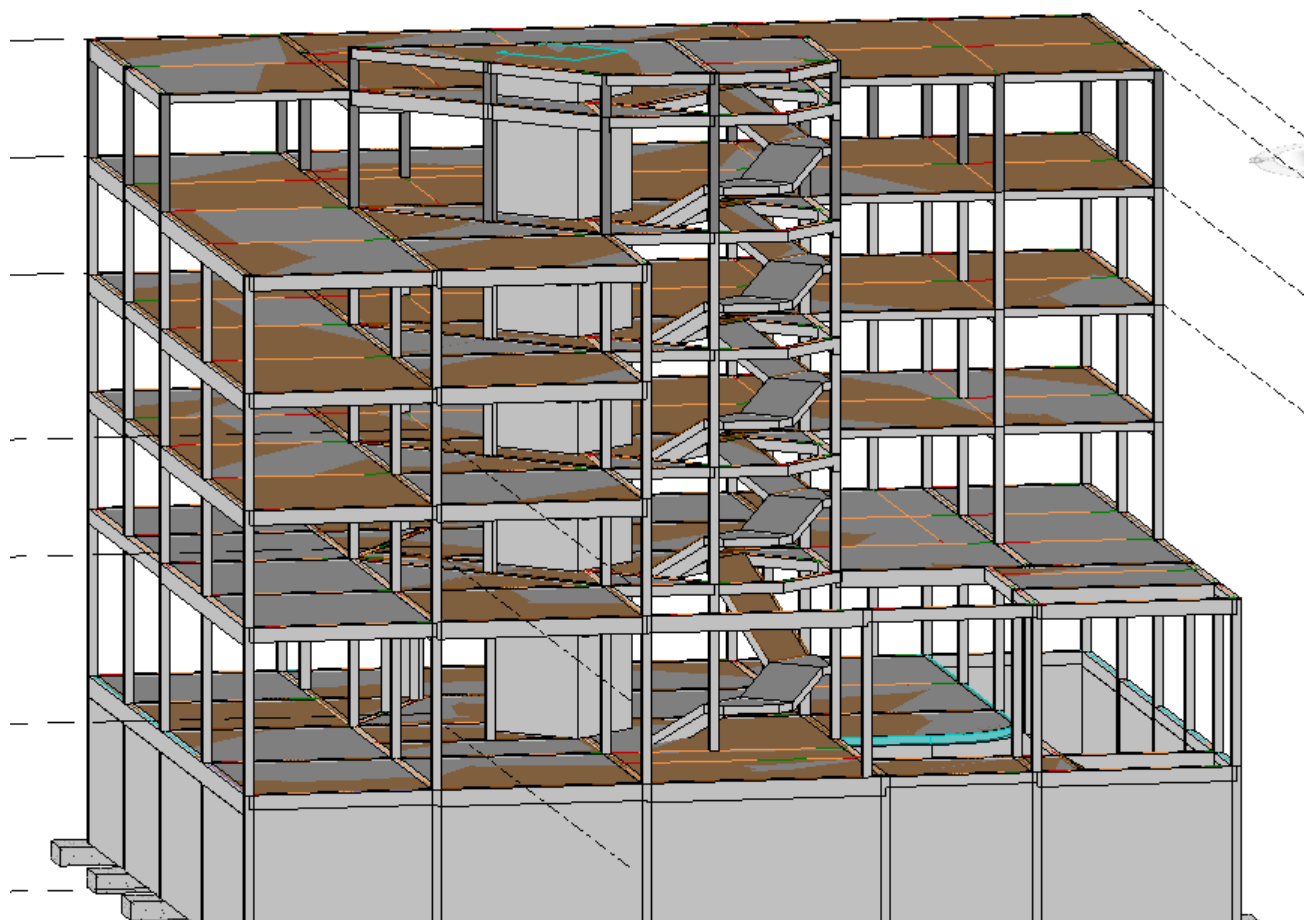
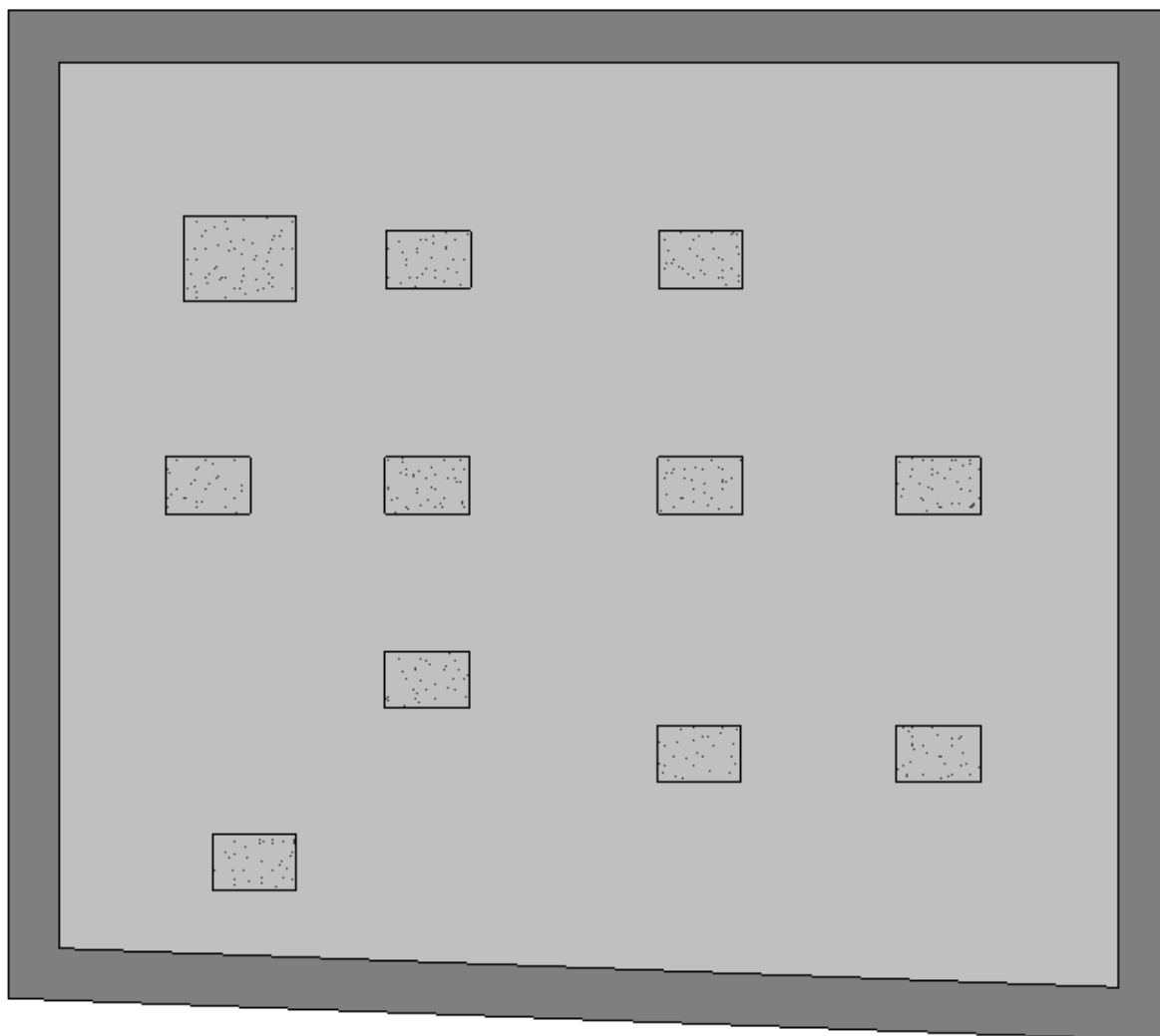


Figure28: Réalisation des escaliers

#### e) Elaboration des fondations :

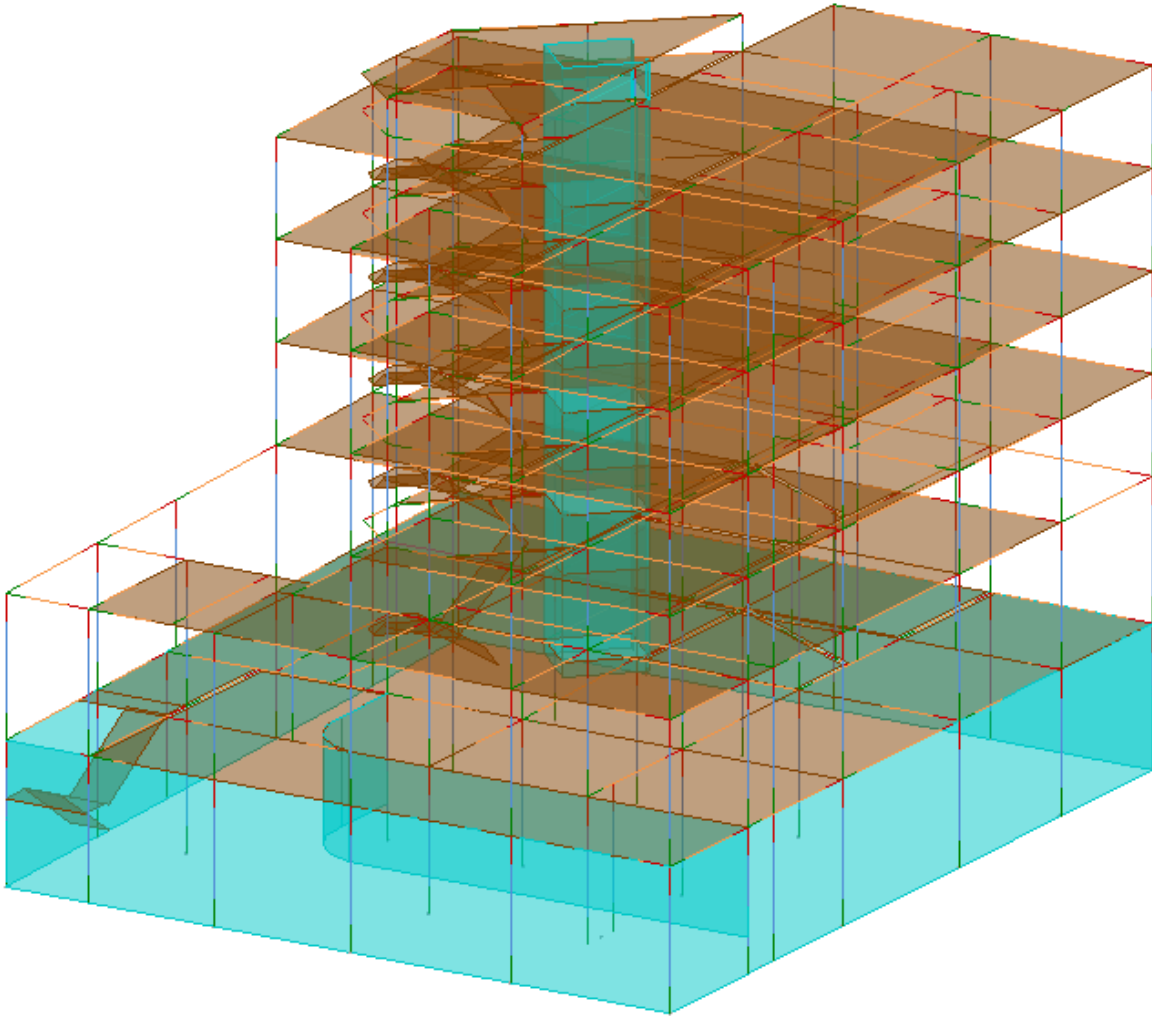
L'examen des résultats fournis par le rapport géotechnique nous a permis d'envisager des fondations superficielles sur des semelles isolées en utilisant l'outil Fondation « semelle isolée » pour placer des soubassements sous les poteaux porteurs.



**Figure29: Création des semelles isolées et filante**

#### f) Modèle analytique

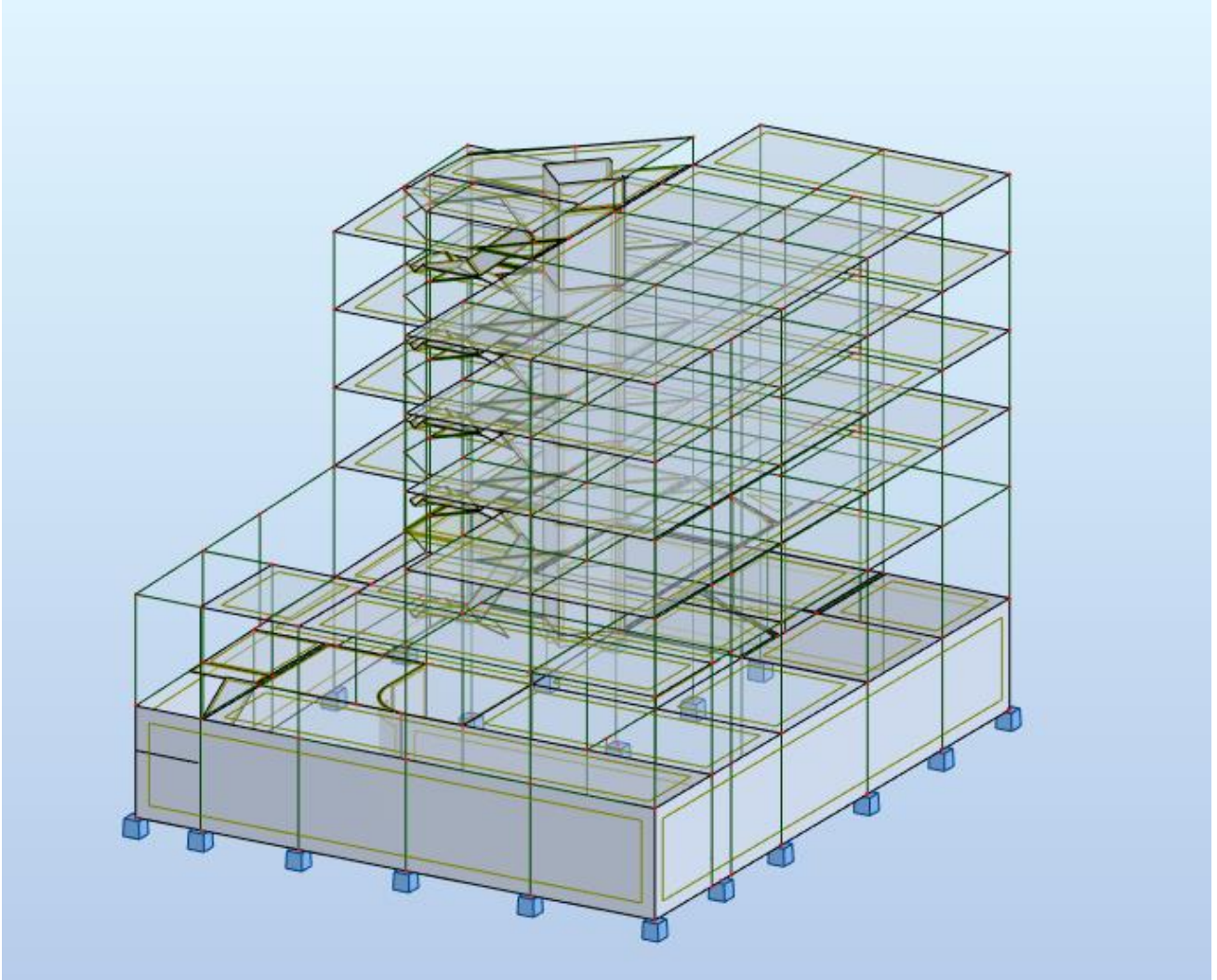
Représentation du modèle physique d'une structure, composée d'éléments analytiques, de géométries, de propriétés de matériaux et de charges. Le modèle analytique est créé automatiquement lors de la création du modèle physique. On peut exporter le modèle analytique dans le logiciel de conception et d'analyse de structure.



**Figure30:Modele analytique**

#### **g) Exportation Revit vers Robot**

Afin de terminer l'exportation, nous avons appliqué la descente charge sur robot pour obtenir notre ferrailage.



**Figure 31: Exportation Revit vers Robot**

#### **Conclusion :**

Pour conclure , le logiciel Revit est devenu une nécessité vitale dans le domaine de génie civil grâce à ses outils BIM qui rend la réalisation de la conception et la modélisation plus facile.

## **Partie V: Excel VBA**

## Introduction

EXCEL VBA (Visual Basic pour Application) est un langage de programmation permettant d'utiliser du code Visual Basic pour exécuter les nombreuses fonctionnalités de l'application. Un programme écrit en VBA est souvent appelé une macro. Les macros permettent notamment d'automatiser des tâches répétitives réalisées sous EXCEL. Elles peuvent aussi être utilisées pour créer des boîtes de dialogue afin de rendre une application développée sous EXCEL plus conviviale. Une macro peut être créée en utilisant l'enregistreur de macros, qui ne nécessite aucune connaissance du langage VBA. Cependant une macro ainsi créée ne s'exécutera que sur un ensemble de cellules données et le code produit ne sera pas toujours très efficace. Pour pouvoir créer des macros propres à ses besoins, efficaces et interactives, puisque nous sommes familiarisés avec le langage Visual Basic nous avons commencé à programmer notre propre fichier spécifique à notre projet.

### I- Système de sécurité de notre application

Comme étant des futurs ingénieurs en Génie Civil, nous avons essayé de donner notre touche personnelle à notre projet et comme nous maîtrisons un langage de programmation utilisé généralement dans le domaine informatique, nous avons décidé de combiner entre les deux domaines en développement notre propre application à base de programmation VBA et qui répond à nos besoins aussi en tant que deux élève ingénieurs en Génie Civil.

La figure ci-contre présente l'interface graphique de notre programme.

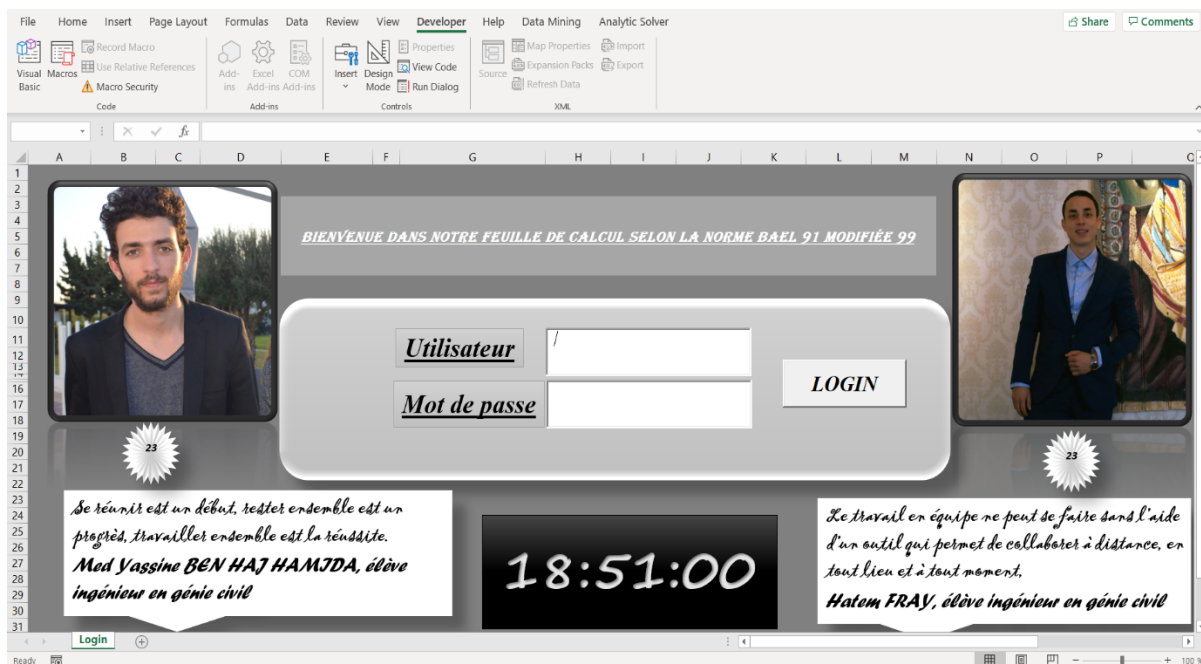


Figure 32:page d'accueil Excel

Afin de donner plus de sécurité à notre programme de calcul, nous avons programmé une interface utilisateur c'est-à-dire seuls ceux et celles qui disposent d'un Identifiant et un mot de passe peuvent accéder à notre fichier et nous avons programmé aussi une montre pour plus de visibilité concernant les personnes qui ont accédé à notre application en utilisant bien évidemment le langage Visual Basic. Pour y accéder finalement il suffit de saisir le nom d'utilisateur et le mot de passe adéquat qui est déjà inscrit dans une base de données interne et confidentiel. En ce moment-là, l'Admin va recevoir une notification dans laquelle il est bien mentionné que Mr/Mme « XXXXXXXX » utilise la feuille « YYYYYY » à la date « jj/mm/aa » vers « hh :mm : ss ». Notant bien que la date et l'heure sont en synchronisation total avec l'horaire normal de notre pays.

Lorsque l'un des utilisateurs veut effectuer une modification dans une feuille de calcul, une demande d'autorisation d'accès sera automatiquement envoyée vers l'administrateur de l'application.

La figure suivante présente une partie de notre code développé.

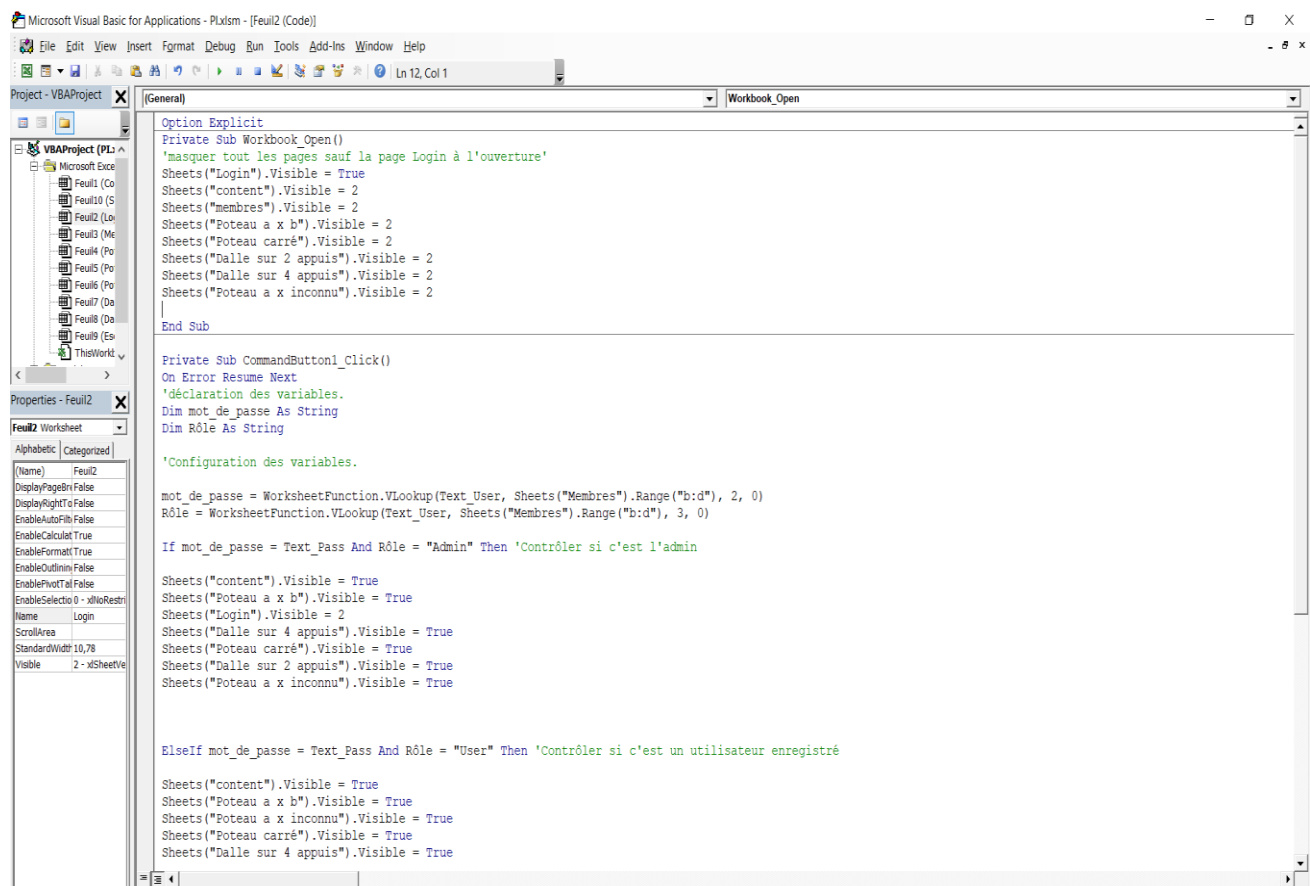


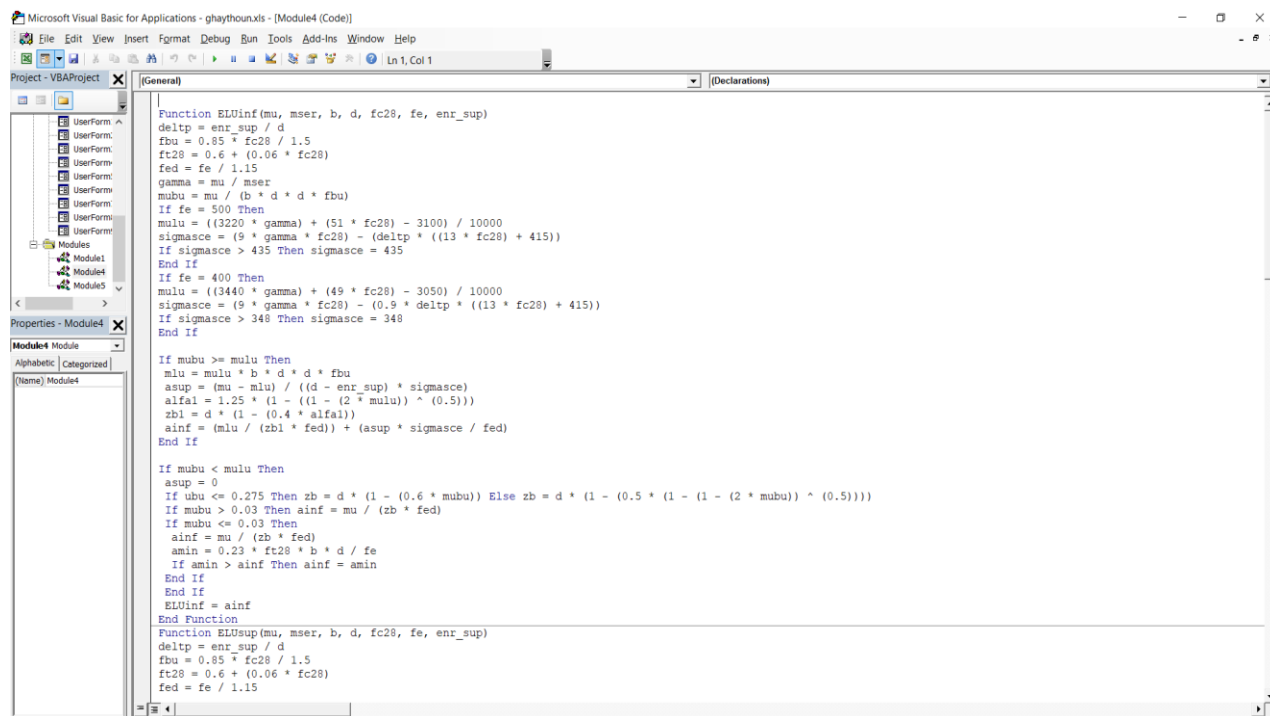
Figure 33 :Code de sécurité

## II- Démarche de développement de notre application

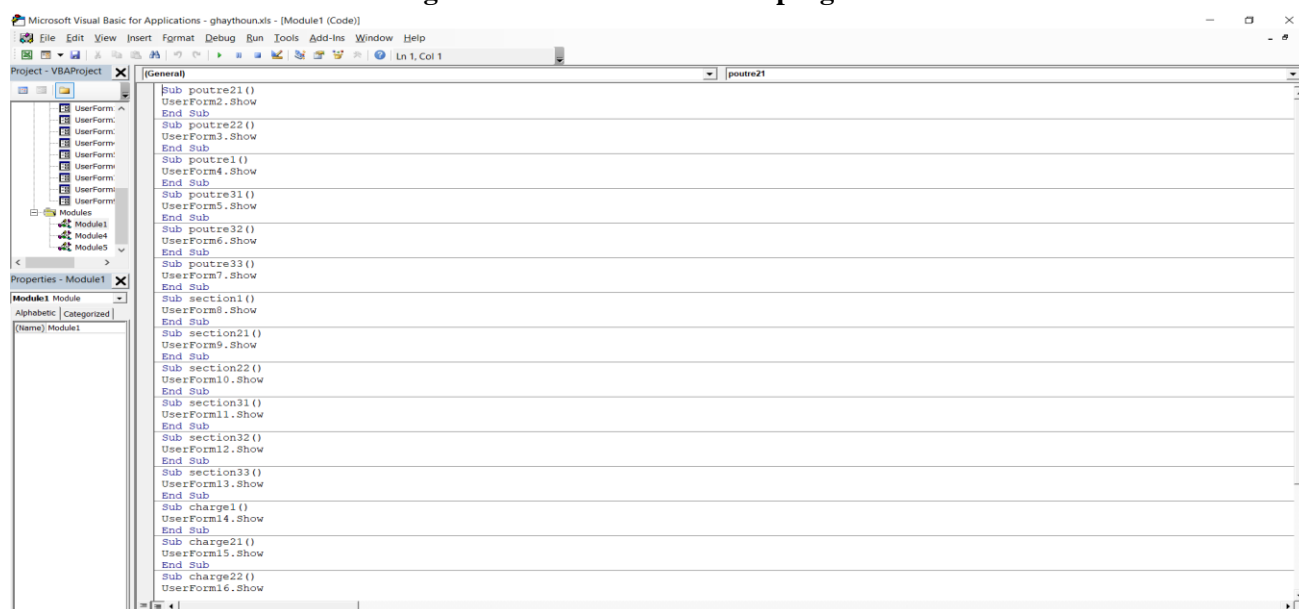
Tout d'abord, nous avons commencé à traité les différentes démarches de calcul des différents éléments de structure en se référant à la Norme BAEL 91 révisée 99 notamment ' poutre, dalle, poteau ...). Après avoir écrire le code de chaque élément de structure, nous avons introduit le

système de Macros afin de faciliter l'utilisation de nos fichiers ainsi que la navigation lors du saisie des données et finalement c'est devenu semblable à un logiciel tel que Graitec OMD 2018 avec lequel nous avons travaillé pour pouvoir modéliser notre bâtiment.

Pour plus de visibilité, une figure eut approximativement faire l'affaire.



**Figure34 :démarche de calcul programmé**



**Figure 35 :Activation des macros**



## **Conclusion**

Pour conclure, nous avons pu finalement coder notre propre application de calcul des éléments de structure, arriver à combiner deux domaines différents et surtout atteindre le premier objectif qui est l'élaboration des feuilles de calcul afin de vérifier les calculs donnés par les logiciels. Mais ça reste encore en phase de développement.

## **Partie VI: Etude d'un poteau**

## Introduction

Les poteaux sont des éléments porteurs chargés de reprendre les charges et surcharges issues des différents niveaux pour les transmettre au sol par l'intermédiaire des Fondations.

Dans notre projet, les poteaux travaillent uniquement à la compression. L'amplitude de cette sollicitation est résumée par la valeur de l'effort normal provenant de l'ensemble des charges permanentes et celui des charges d'exploitations. Après avoir déterminé les caractéristiques géométriques de notre poteau étudié, nous avons commencé le prédimensionnement à l'état limite ultime ainsi que la justification se à l'état limite de service.

Dans cette partie, nous allons étudier et détailler le calcul de la descente de charge d'un poteau intermédiaire 'P2' de type de (22x22) située au troisième étage.

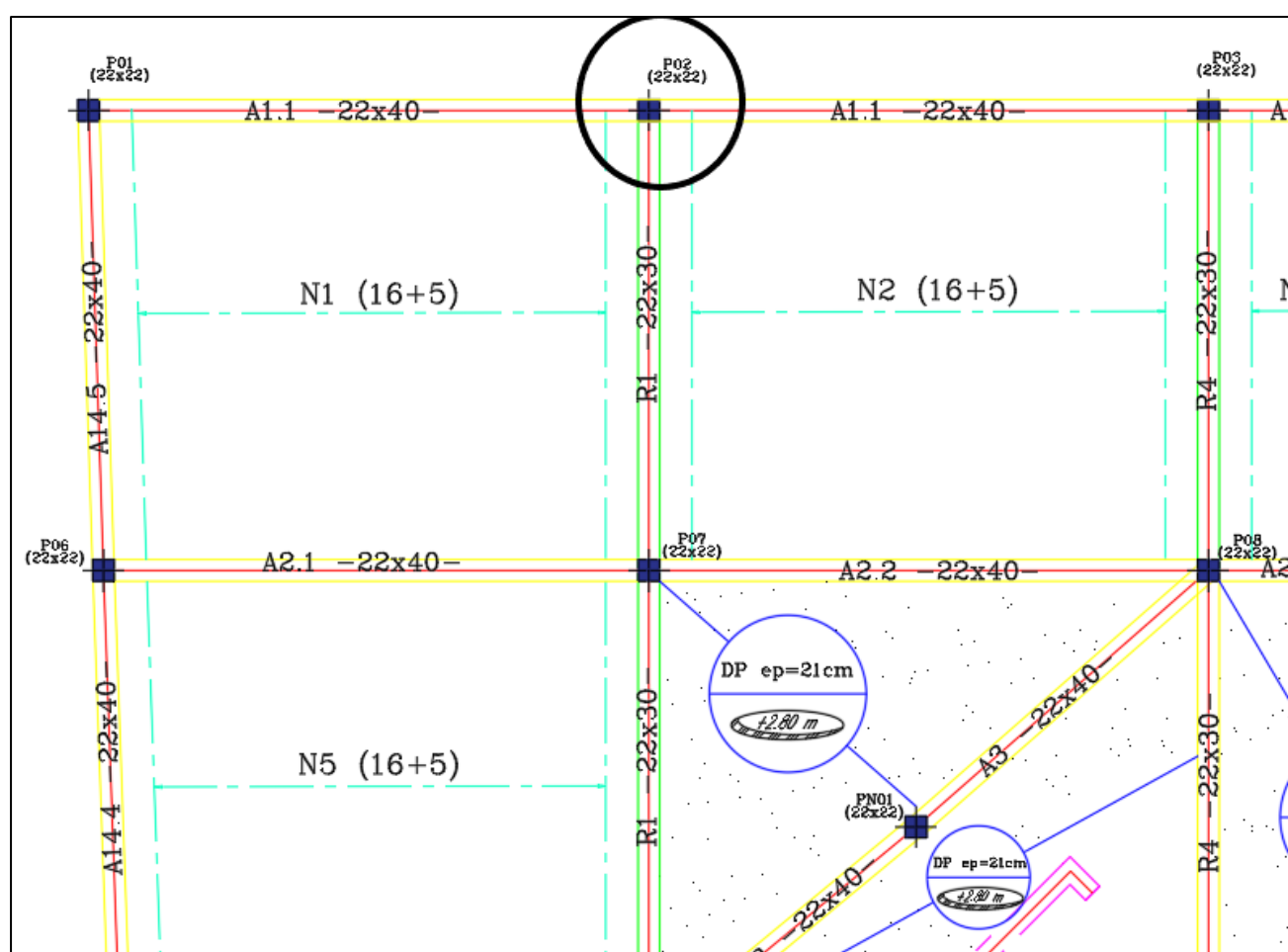


Figure 36 : Emplacement du poteau

## I- Evaluation des charges

Pour clarifier les charges reprises du poteau, nous allons dire que notre élément supporte :

- Son poids propre.
- Une partie de la charge du plancher terrasse
- Le poids propre de poutre du plancher terrasse

-Poids d'acrotère

-Une partie de charge de plancher courant, le poids de poutre du plancher courant et finalement le poids du mur.

En plus, en se référant à la Norme BAEL 91 modifiée 99 nous avons trouvé que les efforts résultants doivent impérativement être majorés forfaitairement de :

- 15% pour les poteaux centraux d'une poutre à deux travées.
- 10% pour les poteaux intermédiaires voisins de poteaux de rive pour une poutre à plus de deux travées.

Donc nous allons commencer le calcul avec les charges ci-dessous :

-G terrasse = 6.75KN/m².

-G courant = 5.8 KN/m².

-Q terrasse= 1KN/m².

-Q courant =1.5KN/m².

Paramètres	Formules	Application numérique
Surface du terrasse	$(2.78 / 2 + 5.48 / 2) \times (4.65 - 0.22) / 2$	9.15m²
Charge de plancher	5.1x 9.15	46.67 KN
Poids d'acrotère	$(1 \times 1 \times 0.15) \times 25$	3.75 KN
Poids propre de la poutre	$(2.78 / 2 + 5.48 / 2) \times 0.4 \times 0.22 \times 25$	18.56 KN
Poids propre du poteau de quatrième étage	$0.22 \times 0.22 \times 2.8 \times 25$	3.4 KN
Charge permanant	46.67+3.75+18.56+3.4	72.38 KN
Charge d'exploitation	1 x 9.15	9.15 KN

**Tableau 7:Charges dues au plancher de l'étage supérieur (quatrième étage)**

Par la suite, nous avons passé au calcul des charge de plancher courant transmise vers le poteau P03

Paramètres	Application numérique	Résultats
Surface du terrasse	$(2.78 / 2 + 5.48 / 2) \times (4.65 - 0.22) / 2$	9.15m <sup>2</sup>
Charge de plancher	5.68x 9.15	51.97 KN
Poids propre de la poutre du troisième étage	$(2.78 / 2 + 5.48 / 2) \times 0.4 \times 0.22 \times 25$	9.1 KN
Poids du mur	4.5x4.13	18.56 KN
Poids propre du poteau de troisième étage	$0.22 \times 0.22 \times 2.8 \times 25$	3.4 KN
Charge permanant	51.97+9.1+18.56+3.4	83.03 KN
Charge d'exploitation	1.5x 9.15	13.73 KN

**Tableau 8:Charges dues au plancher courant**

Paramètres	Application numérique	Résultats
NG	83.03+72.38	155.41 KN
NQ	13.73+9.15	22.88 KN
Pu	$1.35 \times 155.41 + 1.5 \times 22.88$	223.44 KN
Ps	155.41+22.88	178.29 KN

**Tableau 9:Descente de charges manuelle sur les poteaux P01 ET P03 (22X22)**

## II- Calcul mené avec Excel

Nous avons programmé une démarche de calcul sur notre propre fichier Excel afin de déterminer la section d'acier nécessaire ainsi que faire le choix d'armatures convenablement.

Pour commencer, il faut insérer les données actualisées de notre poteau dans notre programme de calcul comme mentionner ci-dessous.

<b>Données</b>				
<b><u>Dimensions du poteau</u></b>	<b><u>Grand coté du poteau</u></b>	<b><i>b</i></b>	<b>0,22</b>	<b>m</b>
	<b><u>Petit coté du poteau</u></b>	<b><i>a</i></b>	<b>0,22</b>	<b>m</b>
<b><u>Sollicitation</u></b>	<b><u>effort normal permanent</u></b>	<b><i>N<sub>g</sub></i></b>	<b>0,15541</b>	<b>MN</b>
	<b><u>effort normal d'exploitation</u></b>	<b><i>N<sub>q</sub></i></b>	<b>0,02288</b>	<b>MN</b>
<b><u>Béton</u></b>	<b><u>Contrainte du béton a 28 jours</u></b>	<b><i>F<sub>c28</sub></i></b>	<b>25</b>	<b>MPa</b>
		<b><i>θ</i></b>	<b>1</b>	
		<b><i>γ<sub>b</sub></i></b>	<b>1,5</b>	
<b><u>ACIER</u></b>	<b><u>Contrainte de l'acier utilisé</u></b>	<b><i>F<sub>c</sub></i></b>	<b>400</b>	<b>MPa</b>
	<b><u>γ<sub>s</sub></u></b>	<b><i>γ<sub>s</sub></i></b>	<b>1,15</b>	
	<b><u>ψ</u></b>	<b><i>ψ</i></b>	<b>1,5</b>	
<b><u>Hauteur d'étage</u></b>		<b><i>L<sub>o</sub></i></b>	<b>3,1</b>	<b>m</b>
<b><u>coefficient de flambement</u></b>		<b><i>K<sub>f</sub></i></b>	<b>1,00</b>	
<b><u>Coefficient réducteur</u></b>	<b><u>Nu/2 appliq. avt 28 j ==&gt;&gt; K= 1.2</u></b>	<b><i>K</i></b>	<b>1</b>	
	<b><u>Nu/2 appliq. avt 90 j ==&gt;&gt; K= 1.1</u></b>			
	<b><u>Nu/2 appliq. aps 90 j ==&gt;&gt; K= 1</u></b>			

Figure 37 : Caractéristiques de l'élément

Après avoir terminé le saisie des données, le calcul va se lancer normalement pour finalement nous donner les résultats suivants.

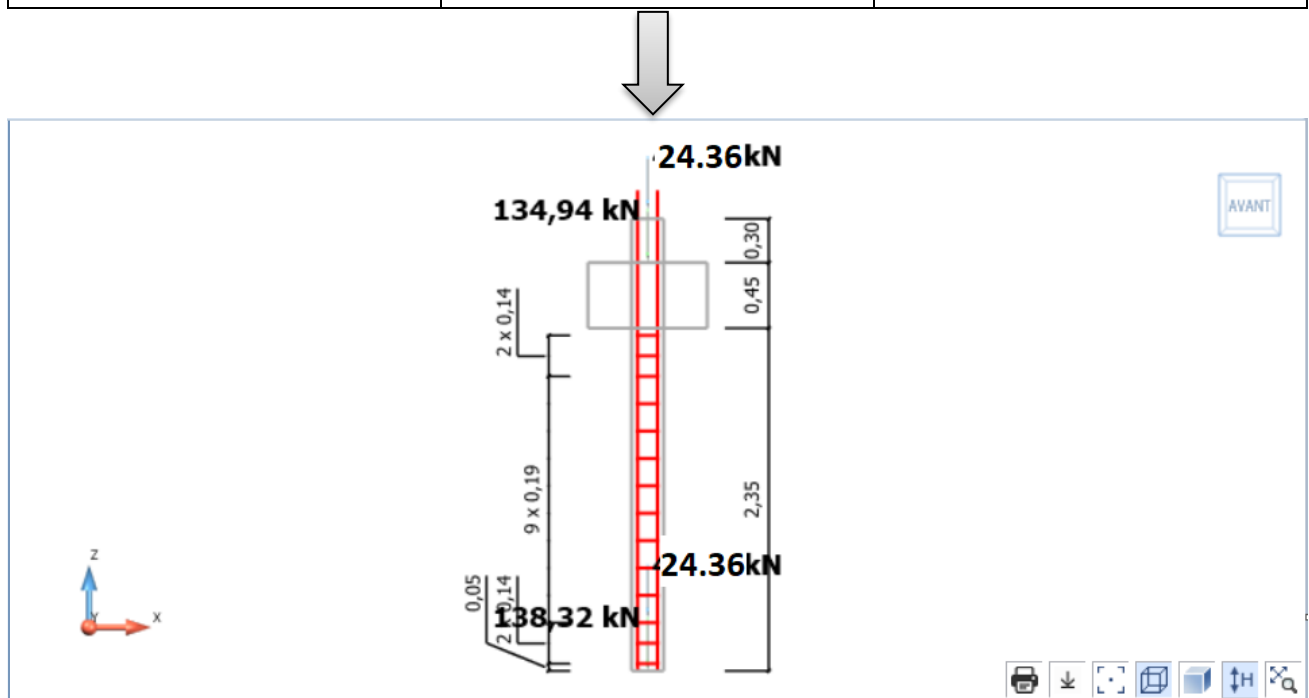
<b>Résultats</b>				
<b><u>Sollicitation</u></b>	<b><u>Effort ultime</u></b>	<b><i>N<sub>u</sub></i></b>	<b>0,2441235</b>	<b>MN</b>
	<b><u>Effort service</u></b>	<b><i>N<sub>s</sub></i></b>	<b>0,17829</b>	<b>MN</b>
<b><u>Béton</u></b>	<b><u>F<sub>t28</sub></u></b>	<b><i>F<sub>t28</sub></i></b>	<b>2,1</b>	<b>MPa</b>
	<b><u>F<sub>bu</sub></u></b>	<b><i>F<sub>bu</sub></i></b>	<b>14,16666667</b>	<b>MPa</b>
<b><u>Acier</u></b>	<b><u>F<sub>su</sub></u></b>	<b><i>F<sub>su</sub></i></b>	<b>347,826087</b>	<b>MPa</b>
	<b><u>T<sub>su</sub></u></b>	<b><i>T<sub>su</sub></i></b>	<b>2,835</b>	<b>MPa</b>
<b><u>Elancement</u></b>	<b><u>Longueur de flambement</u></b>	<b><i>L<sub>f</sub></i></b>	<b>3,1</b>	<b>m</b>
	<b><u>λ</u></b>	<b><i>λ</i></b>	<b>48,81234094</b>	<b>le poteau est stable</b>
<b><u>Coeff B</u></b>	<b><u>β</u></b>	<b><i>β</i></b>	<b>1,389003205</b>	
<b><u>Coefficient reduite</u></b>	<b><u>Br</u></b>	<b><i>Br</i></b>	<b>0,04</b>	<b>m²</b>
<b><u>Le béton en equilibre</u></b>	<b><u>N<sub>b</sub></u></b>	<b><i>N<sub>b</sub></i></b>	<b>0,62962963</b>	<b>MN</b>
<b><u>Acier en equilibre</u></b>	<b><u>N<sub>s</sub></u></b>	<b><i>N<sub>s</sub></i></b>	<b>-0,290541306</b>	<b>MN</b>
<b><u>Section d'acier</u></b>	<b><u>A(cm²)</u></b>	<b>-9,827132403</b>	<b>3,52</b>	<b>non vérifié</b>
	<b><u>A<sub>min</sub>(cm²)</u></b>		<b>3,52</b>	
	<b><u>A<sub>max</sub>(cm²)</u></b>		<b>24,2</b>	
	<b><u>Acier réelle</u></b>		<b>4,52</b>	
	<b><u>choix</u></b>		<b>4</b>	<b>HA</b>
<b><u>acier transversal</u></b>	<b><u>φ</u></b>		<b>14</b>	<b>mm</b>
	<b><u>φ<sub>t</sub></u></b>		<b>6</b>	<b>vérifié</b>
	<b><u>st</u></b>		<b>10,22</b>	<b>cm</b>
	<b><u>ls</u></b>		<b>49,38271605</b>	<b>cm</b>
	<b><u>lr</u></b>		<b>29,62962963</b>	<b>cm</b>
<b><u>vérification des contraintes</u></b>	<b><u>σ<sub>bc</sub>(Mpa)</u></b>		<b>3,231061979</b>	<b>vérifié</b>
	<b><u>σ<sub>adm</sub>(Mpa)</u></b>		<b>7,5</b>	

Figure 38 : Résultats Excel obtenus

### III- Calcul basé sur GRAITEC OMD 2018

Après avoir finir la modélisation, nous avons lancé la vérification de saisie puis la vérification de modélisation et par la suite nous avons lancé le calcul de la Descente de charge (DDC). Par conséquence nous avons obtenu les résultats suivants :

Poteau	NG	NQ
P03 (22X22)	134.94 KN	24.36 KN



**Figure 39 : Ferrailage du poteau P03 avec Advance BIM Designers 2018**

La descente charge donnée par arche nous à donner des valeurs très proches de celles obtenues dans notre fichier de calcul Excel aussi bien que le ferrailage obtenu à partir des deux variantes de calcul : Le choix des armatures est par la suite fixé sur 4 HA 12 avec une section d'acier réelle de 4.52 cm<sup>2</sup> et une section d'acier calculée de 3.52 cm<sup>2</sup>. Pour plus de précision nous avons préparé un autre fichier Excel qui nous donne comme résultat la section minimale de notre élément qui vérifie les contraintes.

## Conclusion

<i>Microsoft Excel 2016</i>		<i>Graitec OMD 2018</i>	
NG = 155.41 KN	NQ = 22.88 KN	NG = 134.94 KN	NQ = 24.36 KN
A <sub>st</sub> = 3,52 cm <sup>2</sup>	<b>4 HA 12</b>	A <sub>st</sub> = 4.52 cm <sup>2</sup>	<b>4 HA 12</b>
<b><u>Résultat : <i>Bien Vérifié</i></u></b>			



## **Partie VII: Etude d'une dalle pleine**

## Introduction

La dalle pleine est un plancher en béton armé de 15 à 20 cm d'épaisseur coulé sur un coffrage plat. Le diamètre des armatures incorporées et leur nombre varient suivant les dimensions de la dalle et l'importance des charges qu'elle supporte. Ce type de plancher est très utilisé dans les bâtiments à usage habitation.

Dans notre cas, nous allons étudier un panneau de dalle pleine (DP) d'épaisseur 20 cm situé en quatrième étage à côté de la cage d'ascenseur présent dans la figure ci-dessous.

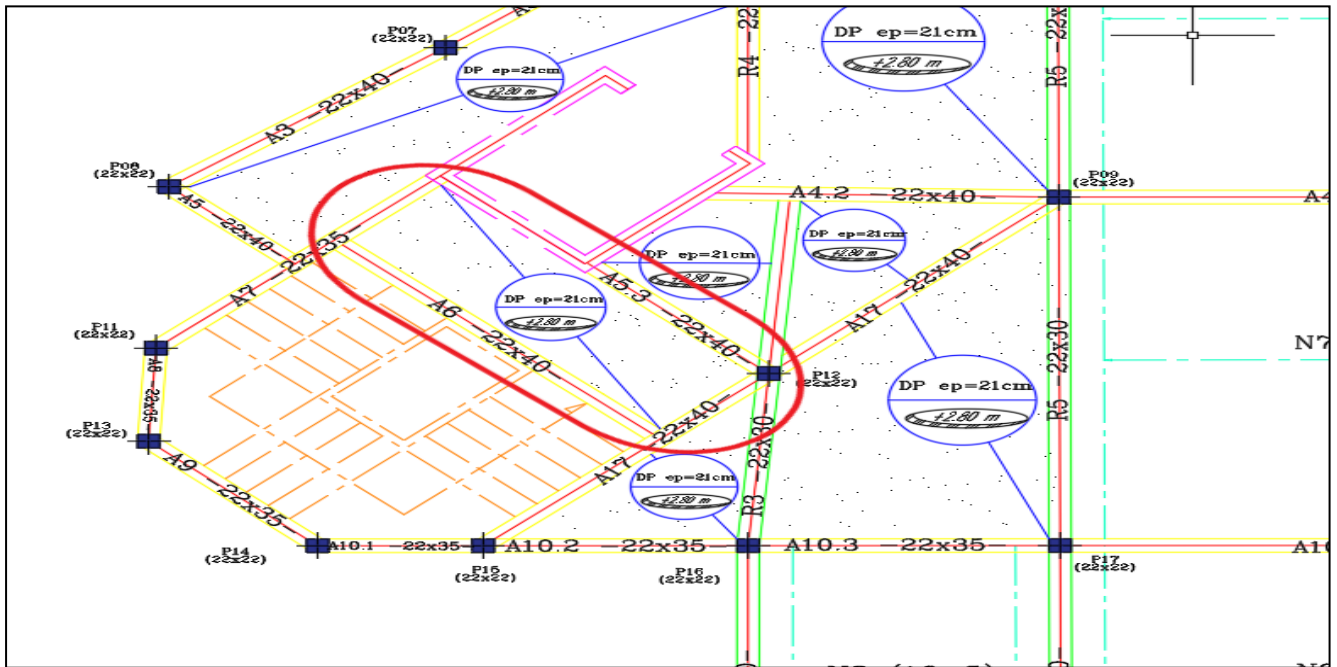


Figure 40 : Emplacement du panneau de dalle pleine

## I- Evaluation des charges

Paramètres	Application numérique	Résultats
Lx	-----	1m
Ly	-----	3m
Épaisseur	-----	0.2m
G	$h \times \varphi = 0.2 \times 25$	5KN/m <sup>2</sup> .
Q	-----	1Kn/m <sup>2</sup>

## II- Calcul mené avec Excel

Dans cette feuille de calcul, nous avons essayés de calculer les moments agissants d'une dalle sur quatre appuis puis conclure par rapport aux sections d'armatures d'acier.

Pour commencer il faut impérativement introduire les données de notre panneau de dalle notamment les charges diverses, l'épaisseur de la dalle, la contrainte de l'acier utilisée, contrainte du béton à 28j, charges d'exploitations et l'enrobage des aciers.

Données de l'étude

Charges (G) diverses	$G \text{ (KN/m}^2\text{)} =$	0,00
Epaisseur de la dalle	$ep \text{ (m)} =$	0,20
Contrainte de l'acier utilisé	$F_{tE} \text{ (MPa)} =$	400,00
Contrainte du béton à 28j	$F_{c28} \text{ (MPa)} =$	25,00
Charges d'exploitations Q	$Q \text{ (KN/m}^2\text{)} =$	1,00
Enrobage des aciers	$C \text{ (cm)} =$	2,50

Coef  $M_n$  : 0,30  $MO(y)$

Coef  $M_t(y)$  : 0,30  $MO$

Coef  $M_s$  : 0,30  $MO$

$L_x \text{ (m)} :$  1,00

$L_y \text{ (m)} :$  3,00

Coef  $M_w$  : 0,30  $MO(x)$

Coef  $M_e$  : 0,30  $MO(x)$

Coef  $M_t(x)$  : 0,30  $MO$

Figure 41 : Caractéristiques de l'élément

Maintenant le calcul s'est lancé normalement et nous avons obtenu par la suite les résultats suivants :

<u>Calculs des moments agissants</u>				
Rapport des cotés ( $L_x/L_y$ )	$L_x / L_y$	$a =$	0,33	
Charges permanentes G	$(\text{épaisseur dalle} \times 25 \text{ KN/m}^3) + G'$	$G =$	5,00	$KN/m^2$
Effort ultime repris par le plancher	$(1.35G + 1.5Q)$	$P_u =$	8,25	$KN/m$
Détermination des coef $\mu_x$ et $\mu_y$	Dépend du rapport $a$	$m_x =$	0,05	
	Tableau BAEL page 243, annexe E3	$m_y =$	0,75	
Calcul des moments isostatiques	Sens $L_x = \mu_x \times (P_u \times L_x^2)$	$MO(x) =$	0,39	$KN.m$
	Sens $L_y = \mu_y \times (P_u \times L_y^2)$	$MO(y) =$	0,29	$KN.m$
Calcul des moments sur appuis	$M_w = \text{Coef } M_w \times MO(x)$	$M_w =$	0,12	$KN.m$
	$M_e = \text{Coef } M_e \times MO(x)$	$M_e =$	0,12	$KN.m$
	$M_n = \text{Coef } M_n \times MO(y)$	$M_n =$	0,09	$KN.m$
	$M_s = \text{Coef } M_s \times MO(y)$	$M_s =$	0,09	$KN.m$
Calcul des moments en travées	$M_t(x) = \text{Coef } M_t(x) \times MO(x)$	$M_t(x) =$	0,12	$KN.m$
	$M_t(y) = \text{Coef } M_t(y) \times MO(y)$	$M_t(y) =$	0,09	$KN.m$

Figure 42 : Résultat des moments agissants

Par la suite, le calcul s'est lancé une autre fois pour conclure par rapport aux sections d'aciers ainsi

que la vérification des contraintes.

Calcul des sections d'armatures				
Ferraillage de la travée dans le sens (Lx)	Soit ( $\mu$ ), les moments agissants	$A_x$ ( trav ) =	0,02	$cm^2 / m^2$
Ferraillage sur appui ( w )	Conditions : $\mu_u < \mu_l$ de Perchat	$A_x$ ( w ) =	0,02	$cm^2 / m^2$
Ferraillage sur appui ( e )	Les calculs s'effectuent comme pour	$A_x$ ( e ) =	0,02	$cm^2 / m^2$
Ferraillage de la travée dans le sens (Ly)	une section rectangulaire	$A_y$ ( trav ) =	0,01	$cm^2 / m^2$
Ferraillage sur appui ( n )	La largeur ( b ) sera alors = 1,00m	$A_y$ ( n ) =	0,01	$cm^2 / m^2$
Ferraillage sur appui ( s )		$A_y$ ( s ) =	0,01	$cm^2 / m^2$
Ferraillage mini dans la travée (Ly)	( 8 x ep ) pour FeE 400	$r_{0l}(y)$ =	1,60	$cm^2 / m^2$
	( 6 x ep ) pour FeE 500 ou TS			
Vérification	Il faut que $A_y > \rho_{0l}(y)$	Vérification :	Non vérifié	
Ferraillage mini dans la travée (Lx)	$r_{0l}(y) \times (( 3 - \alpha ) / 2)$	$r_{0l}(x)$ =	2,13	$cm^2 / m^2$
Vérification	Il faut que $A_x > \rho_{0l}(x)$	Vérification :	Non vérifié	

Figure 43 : Sections d'aciers dans les deux sens

Nous remarquons dans la figure ci-dessus que la section d'acier minimal dans les deux travées Lx et Ly ne sont pas vérifiées puisque dans le sens (Lx) nous avons trouvé une section d'acier de 0.02 cm<sup>2</sup> inférieure à la section d'acier minimal d'ordre de 2.13 cm<sup>2</sup>, de même dans le sens (Ly) le ferraillage minimal est supérieur au section d'armatures affichée dans la feuille Excel , alors en se référant à la norme BAEL avec laquelle nous travaillons nous avons finalement décidé de prendre le ferraillage minimal dans les deux travées.

L'étape suivante est de vérifier la contrainte de cisaillement en se basant sur la valeur de l'effort tranchant maximal déjà calculé et présent dans la figure suivante.

Vérification de la contrainte de cisaillement				
Effort tranchant maximal (Maxi Ly)	$(P_u \times L_x \times Ly) / ((2 \times Ly) + L_x)$	$V_{u,max} =$	3,54	KN
Contrainte tangente de travail	$V_u / (1.00 \times (ep - C))$	$t_u =$	0,02	MPa
Contrainte tangente de travail admissible	$(0.07 \times f_{c28}) / 1.5$	$t_{u,adm} =$	1,17	MPa
Vérification	$t_u < t_{u,adm}$	Vérification :	Vérifié	

Figure 43 : Vérification vis-à-vis cisaillement

## Conclusion

Pour conclure nous avons choisi de travailler avec les armatures d'acier suivantes :

- Sens Lx : 6 HA 8
- Sens Ly : 4 HA 8

## **Partie VIII: Etude d'une poutre hyperstatique**

## Introduction

Les poutres sont des éléments porteurs en Béton Armé. Leur rôle consiste essentiellement à supporter les charges transmises par le plancher. La descente des charges, le calcul et le dimensionnement de l'ensemble des poutres de toute la partie béton sont élaborés à l'aide du logiciel « ARCHE ».

Nous traiterons, à titre indicatif, par un calcul détaillé une poutre continue à 2 travées. Il s'agit de la poutre A12, 3ème étage représentée dans la figure.

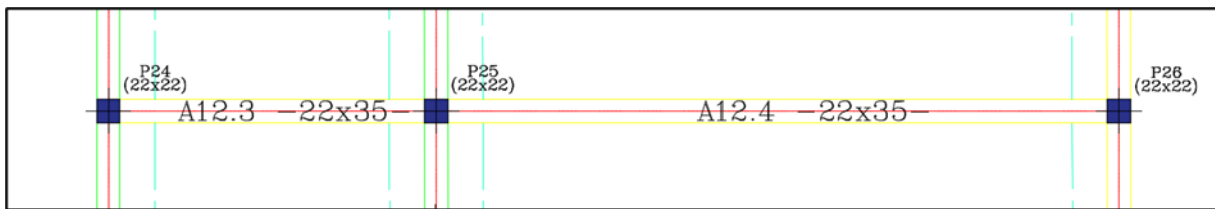


Figure 44 : Emplacement de la poutre

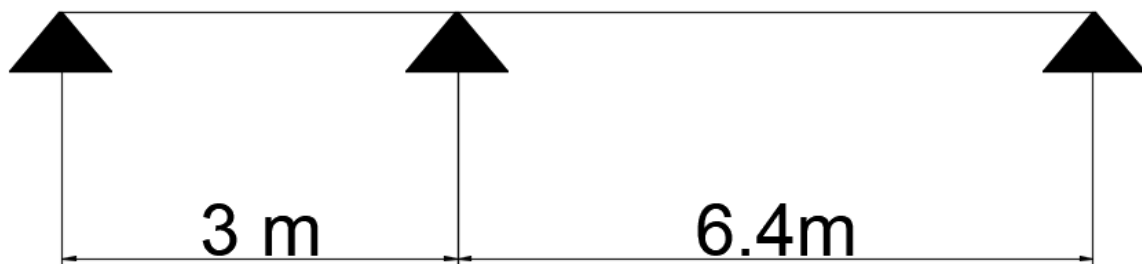


Figure 45 : Schéma mécanique de la poutre

### I- Prédimensionnement de la poutre

Le prédimensionnement de la section de la poutre se fait en se basant sur la condition suivante :

Nous avons choisi la grande portée :  $l=6.4\text{m}$  :

$$\frac{l}{16} \leq h \leq \frac{l}{12} \longrightarrow \frac{6.4}{16} \leq h \leq \frac{6.4}{12} \longrightarrow 0.4 \leq h \leq 0.53$$

On prend  $h=0.40\text{ m}$

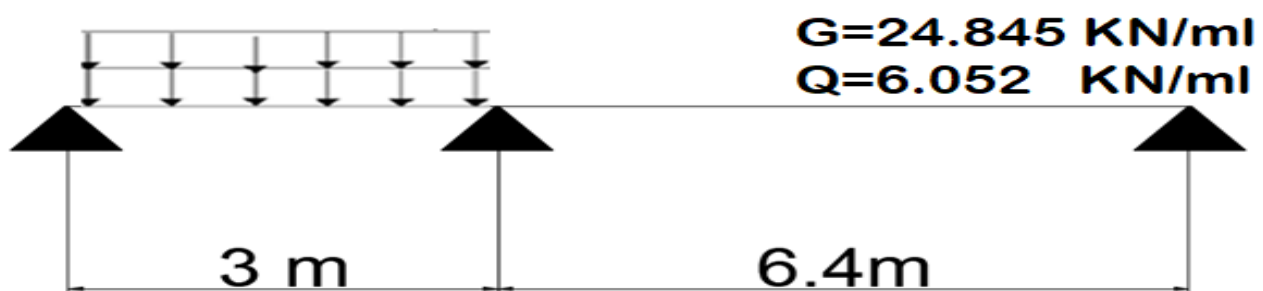
La section de la poutre : (22x40)

### II- Evaluation de charge

✓ Pour la travée AB :

$$G_{\text{poutre}} = G_{\text{plancher}} + P_{\text{poutre}}$$

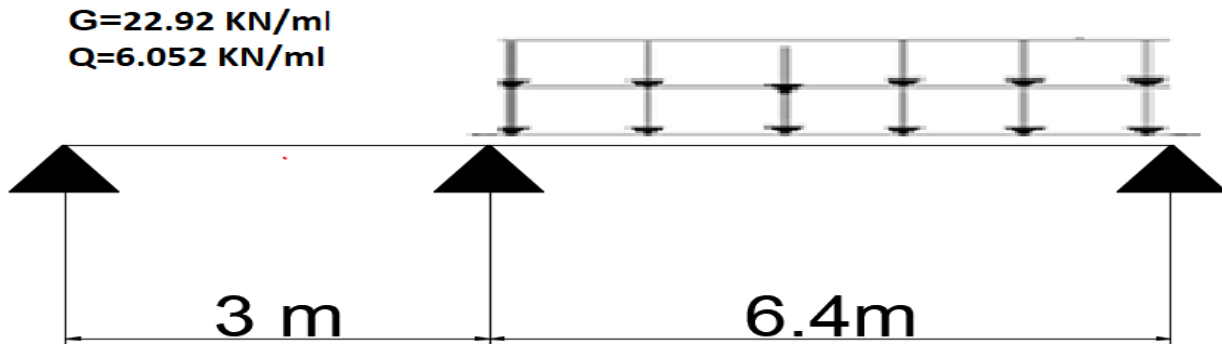
Paramètres	Application numérique	Résultats
Poids propre de la poutre	$h \times b \times \varphi = 0.35 \times 0.22 \times 25$	1.925 KN/ml
Zone d'influence du plancher	$\frac{3.57}{2} + \frac{4.5}{2}$	4.035 ml
Charge de plancher	$G \times \text{influence} = 5.68 \times 4.035$	22.92 KN/ml
Charge permanente Gp	1.925+22.92	24.845
Charge d'exploitation Qp	$Q \times \text{influence} = 1.5 \times 4.035$	6.052 KN/ml



✓ Pour la travée BC :

**$G_{\text{poutre}} = G_{\text{plancher}} + P_p \text{ poutre}$**

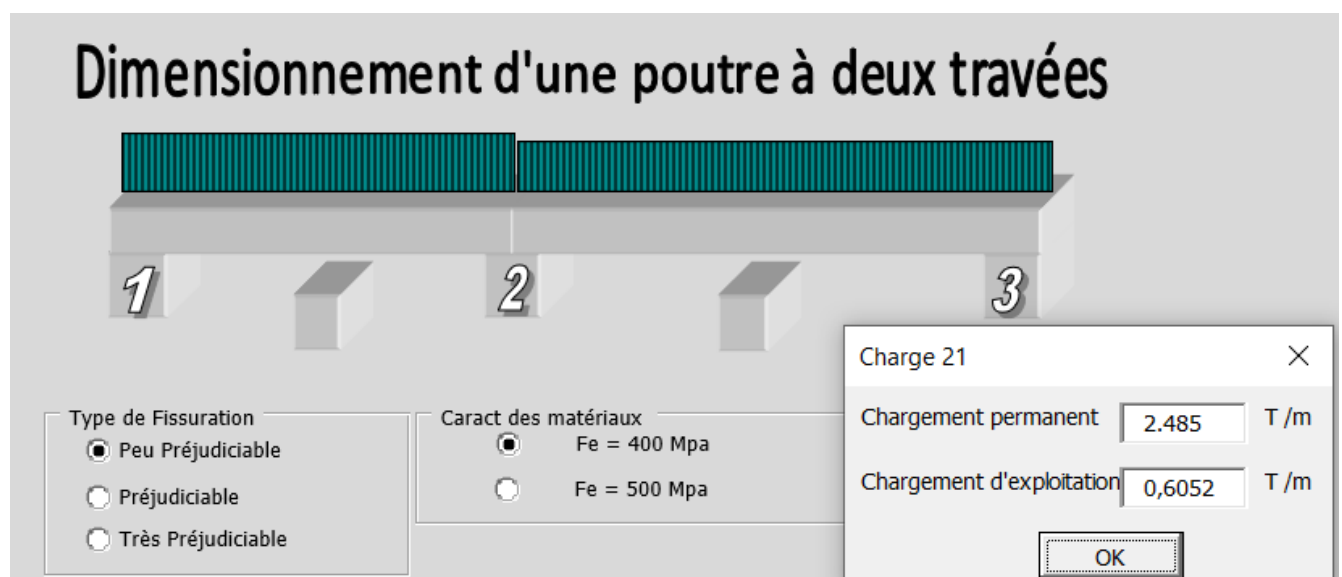
Paramètres	Application numérique	Résultats
Poids propre de la poutre	$h \times b \times \varphi = 0.4 \times 0.22 \times 25$	2.2 KN/ml
Zone d'influence du plancher	$\frac{3.57}{2} + \frac{4.5}{2}$	4.035 ml
Charge de plancher	$G \times \text{influence} = 5.68 \times 4.035$	22.92 KN/ml
Charge permanente Gp	2.2+22.92	25.12 KN/ml



### III- Calcul mené avec Excel

Dans cette partie, nous avons commencé tout d'abord par introduire les données (Chargement, caractéristiques des appuis...) en se basant sur les calculs précédents par exemple un seul clic sur la première travée pour saisir les valeurs des charges permanentes et les charges d'exploitations.

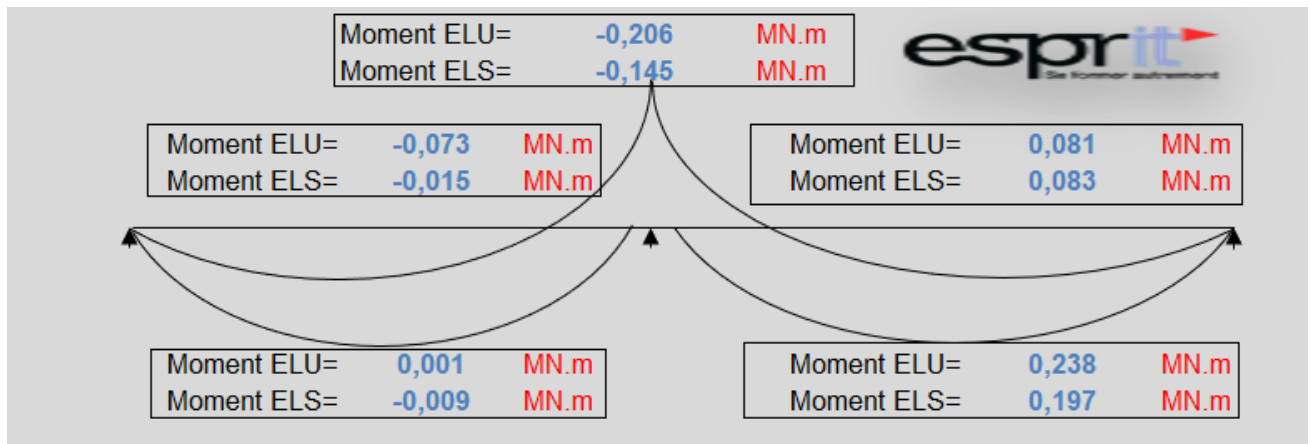
Les autres paramètres à cocher sont le type de fissuration et les caractéristiques des matériaux.



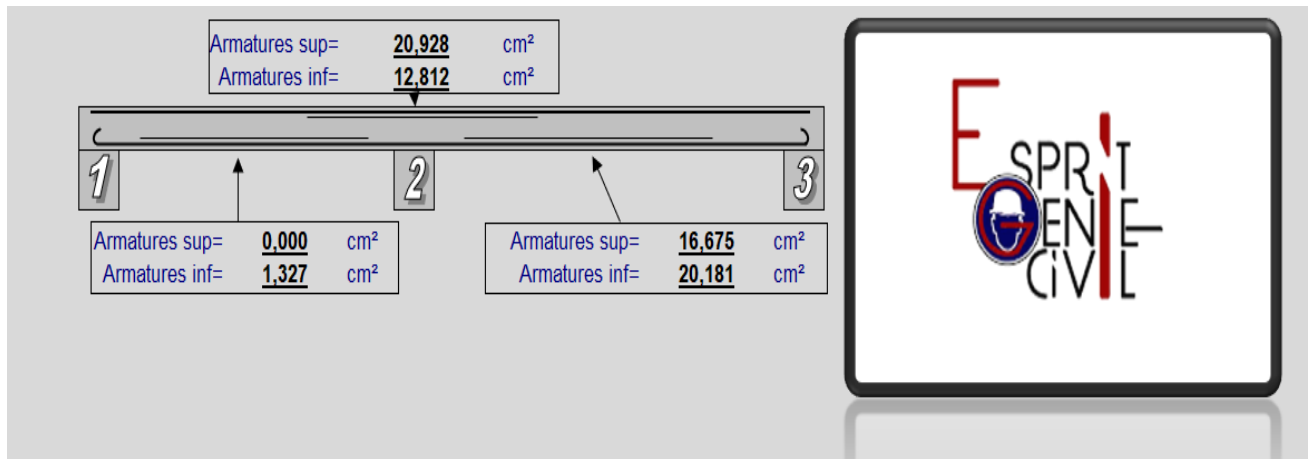
*Figure 46 : chargement de la poutre*

Par la suite, nous avons relancé le calcul pour déterminer les valeurs des moments fléchissants ainsi que les différentes sections d'acier.





**Figure 47 : diagramme des moments fléchissant**



**Figure 48 : Ferraillage de la poutre**

## **Partie IX: Etude d'un escalier à un seul palier**

## Introduction

L'escalier à étudier est constitué par deux volées symétriques, il assure l'accès entre le RDC et le sous-sol séparé par une hauteur sous plafond de 3.2, vu que cet escalier est composé de deux volées symétriques, mais nous avons dimensionné une seule volée.

L'escalier est représenté par la figure suivante :

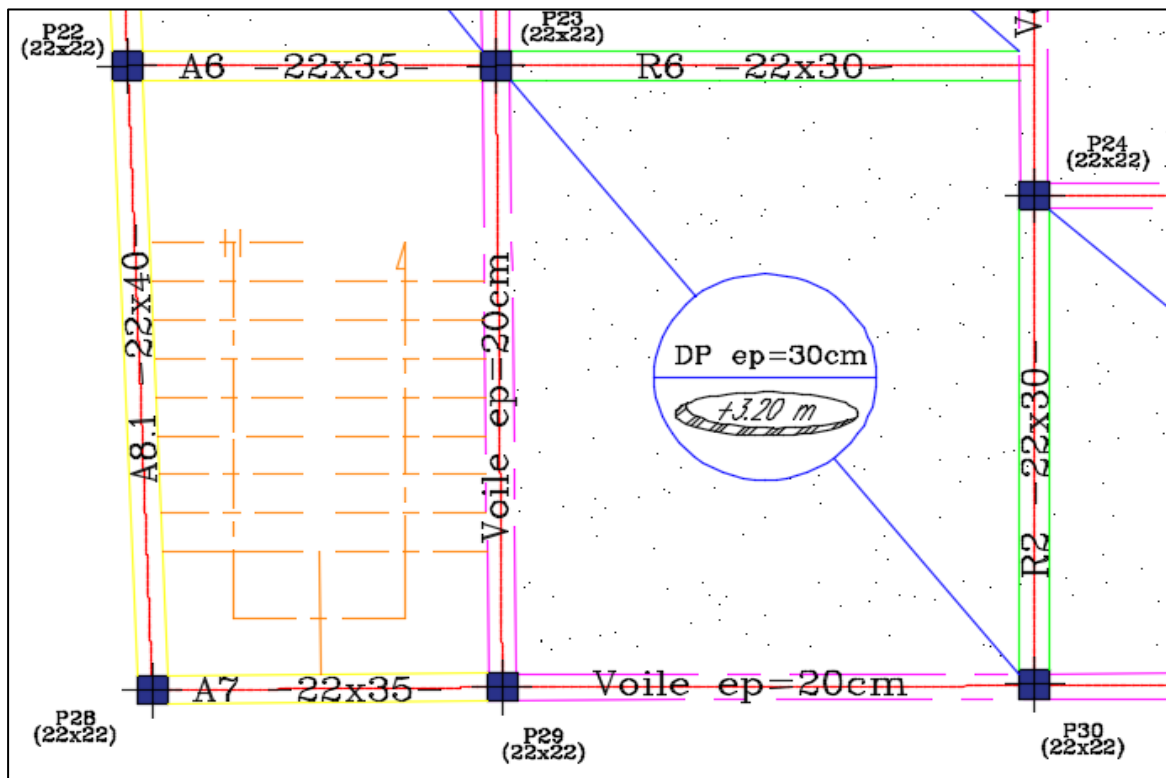


Figure 49 : Emplacement de l'escalier

## I- Prédimensionnement de l'escalier

Paramètres	Description	Résultat
H : hauteur à franchir	Hauteur sous plafond + Hauteur de la dalle finie	3.5m
Nombre de contre marches	-----	18
Hauteur du contre marche	$h = H/18$	19.5cm

Le giron g donne par le plan d'architecture	-----	21cm
Inclinaison de la paillasse $\alpha$	-----	30°
Epaisseur de la paillasse $E_p$	$\frac{2.4}{30} \leq ep \leq \frac{2.4}{25}$	10cm

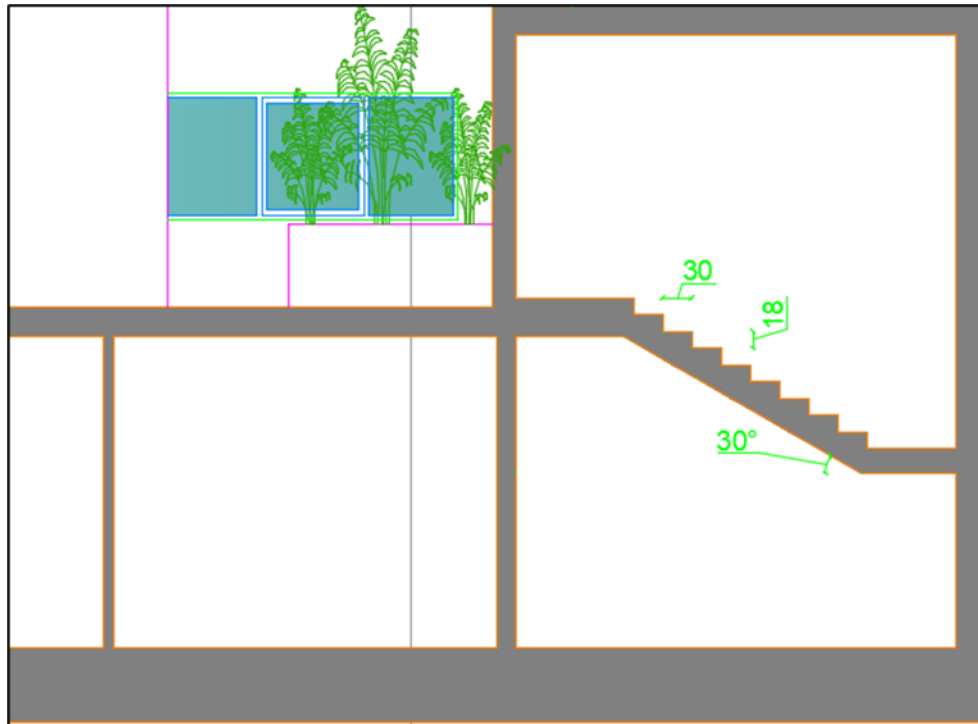


Figure 50 : Coupe B-B de l'escalier

## II- Calcul mené avec Excel

<u>Données</u>			
Hauteur totale à franchir	lo =	2,40	m
Nombre de marches	n1 =	18,00	
Nombre de contremarches	n =	19,00	
Emmarchement	n1 =	1,20	m
Epaisseur de la paillasse	ep =	15,00	cm
Poids volumique du béton	pvb =	25,00	KN / m3
Contrainte de l'acier utilisé	Fe =	400,00	MPa
Contrainte du béton à 28 jours	Fc28 =	25,00	MPa
Conditions de fissuration	Peu préjudiciable		

Figure 51 : Données de l'escalier

<b>Résultats</b>				
Hauteur de marche	$(LO / N)$	ht =	12,63	cm
Giron	$60 < 2 HT < 64$	g =	28,50	cm
Longueur de volée étudiée		l =	4,23	m
Nombre de marches concernées		n =	12,00	
Hauteur à franchir correspondante	$(N \times HT)$	l' =	1,52	m
Epaisseur moyenne de la volée	$EP + (HT / 2)$	e' =	21,32	cm
Angle moyen d'inclinaison	$INV (TAN (L' / L))$	a' =	19,71	°
Charges permanentes G	$(PVB / COS \alpha') \times e' \times b$	G =	6,79	KN / ml
Charges d'exploitations Q	$(5 KN / M^2 \times B)$	Q =	6,00	KN / ml
Effort de service repris par l'escalier	$(G + Q)$	Pser =	12,79	KN / ml
Effort ultime repris par l'escalier	$(1.35 G + 1.5 Q)$	Pu =	18,17	KN / ml
Moment de service	$(PSEr \times L^2) / 8$	Mser =	28,61	KN . m
Moment ultime	$(PU \times L^2) / 8$	Mu =	40,64	KN . m
Coefficient de sollicitation	$(MU / MSER)$	g =	1,42	
Moment réduit ultime	DÉPEND DU TYPE D'ACIER	ml =	0,27	
Hauteur utile de la volée	$(EP - 3 CM)$	d =	12,00	cm
Contrainte de calcul du béton	$(0.85 \times F_{C28}) / 1.5$	Fbu =	14,17	MPa
Contrainte de calcul de l'acier	$(FE / 1.15)$	Fsu =	347,83	MPa
Moment réduit ultime	$MU / (B \times D^2 \times FBU)$	mm =	0,17	
Système d'armatures retenus	II FAUT QUE $\mu_{\mu} < \mu_l$	aciers simples		
Coefficient de la fibre neutre	$1.25 \times (1 - (1 - 2\mu_{\mu})^{1/2})$	a =	0,23	
Bras de levier du couple interne	$D \times (1 - 0.4A)$	Zb =	10,90	cm
Section théorique des acier filants	$MU / (ZB \times FSU)$	Ax =	10,72	cm²
Choix des sections commerciales	IL FAUT QUE $\phi_l < (e' / 10)$	8 HA 14		
Espacement des armatures filantes	INFÉRIEUR AU MINI (3 HT ; 33 CM)	St 1 =	20,40	cm
Section théorique des aciers de répartitions	$(AX / 4)$	Ay =	2,68	cm² / ml
Choix des sections commerciales	LIRE DANS LE TABLEAU DES ACIERS	6 HA 8		
Espacement des armatures de répartitions	INFÉRIEUR AU MINI (4 HT ; 45 CM)	St 2 =	20,00	cm

Figure 52 : Ferrailage de l'escalier

## **Conclusion générale**

En conclusion, notons que le présent projet était une bonne occasion pour confronter des problèmes réels et pratiques. En plus, ce projet était une occasion pour tester les connaissances théoriques acquises au cours de notre formation académique à ESPRIT et une bonne opportunité pour s'exercer aux logiciels de calcul et de dimensionnement.

Ces derniers sont devenus, de nos jours, parmi les facteurs essentiels pour la réussite dans la vie professionnelle.

Aussi ce travail nous a permis de bénéficier des conseils, de renseignements et de directives de nos enseignants.

En outre, vu la richesse structurale et architecturale de notre projet nous avons eu l'opportunité d'améliorer notre esprit de recherche bibliographique et de documentation, ce qui particulièrement favorisé l'acquisition des nouvelles connaissances.

Espérons, que ce travail soit à la hauteur des ambitions de tous ceux qui nous ont fait confiance et qui ont consacré un peu de temps pour nous fournir les meilleures conditions de travail.