

Source : Les éléments des projets de construction, 8è Edition, Ernst Neufert.

IV. 4. Confort et sécurité

IV. 4. 1. Confort

Actuellement, le confort est le moindre des besoins des usagers ; tout ce qui importe pour eux c'est surtout de trouver un emplacement pour se garer. Cependant, le confort est un des préoccupations des ingénieurs en Bâtiment et Travaux Publics. Quelques mesures ont donc été prises :

- le parking est sur plusieurs niveaux, donc tous les véhicules s'y stationnant, sauf ceux sur les toits, seront couverts. De ce fait, les voitures sont protégées contre les intempéries et le risque de corrosion est réduit ;
- la pente de la rampe a été étudié afin de ménager le moteur des voitures ;
- la pente de l'escalier ainsi que ses dimensions sont pensées afin que les usagers dépensent le moins d'énergie possible ;
- l'immeuble est muni d'ascenseur, toujours dans la perspective de soulager les usagers ;
- chaque niveau aura 4 WC avec lavabo ;
- l'éclairage de l'immeuble sera assuré par la lumière naturelle durant la journée.

L'éclairage nocturne sera calculé dans un chapitre antérieur.

IV. 4. 2. Sécurité

Dernièrement, la brigade criminelle d'Antananarivo enregistre près de 50 véhicules volés par an. Elle reçoit aussi des plaintes pour les petits vols : vol de roues, d'autoradio, de batterie, et toutes les autres pièces détachées difficiles à trouver. Selon des enquêtes menées au sein des automobilistes, la cause fréquente de ces vols sont, par ordre de probabilité : parking sans gardien ou avec des gardiens non qualifiés, stationnement dans des zones dites « chaudes », emplacement dans des lieux publics où il y a un grand nombre de voleurs, etc.

Contrairement aux parkings en plein air de la ville, celui du projet est couvert, réduisant déjà de moitié le problème d'insécurité. Ensuite, au moins un gardien sera engagé pour la surveillance des voitures à chaque niveau. Comme le parking est dans un bâtiment, seul les propriétaires de voitures s'y stationnant auront le droit d'y entrer. Enfin, l'entrée et la sortie des véhicules auront des barrières surveillées.

La sécurité des usagers est également plus importante. Donc, les précautions suivantes ont été prises :

- deux extincteurs, un interrupteur d'alarme incendie et une bouche d'incendie sont prévus pour chaque niveau ;
- même si le bâtiment sera ouvert, le contour extérieur et les rampes sont munis de garde-fou en voile, résistant aux chocs ;
- les escaliers seront munis de garde-fou métallique ;
- l'immeuble aura une échelle de secours.

Vis-à-vis de la foudre, l'immeuble est assuré par un paratonnerre déjà installé entre un bâtiment existant et le nouveau. Pourtant, d'autres précautions, tels que l'installation d'un disjoncteur principal et d'une prise de terre, ont été prises afin de réduire les risques. Ci-dessous quelques images illustrant le mode d'installation d'une prise de terre.

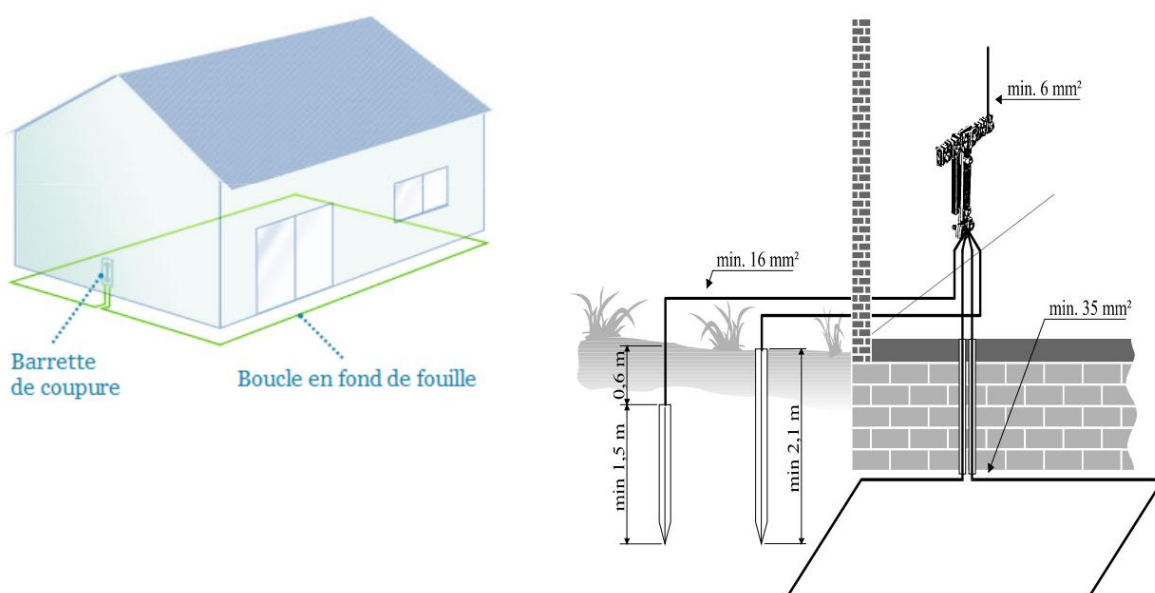


Figure 13. *Installation d'une prise de terre.*

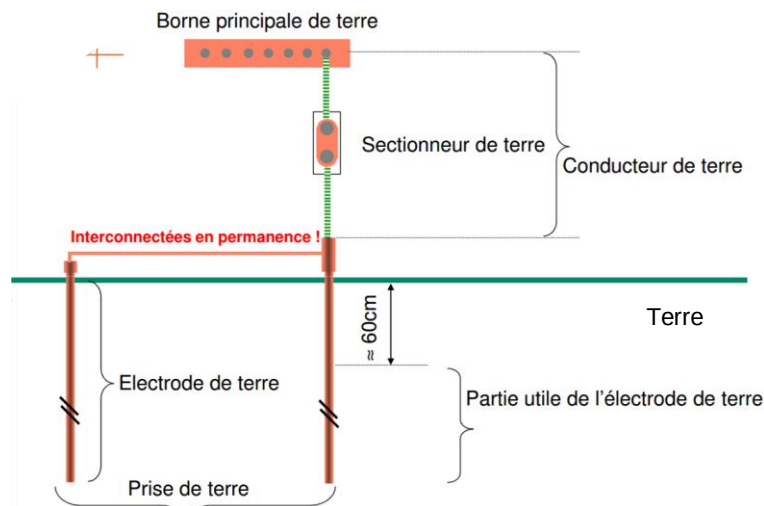


Figure 14. *Éléments constitutifs d'une prise de terre.*

La sécurité contre les surtensions et les courts circuits est également incontournable. Le courant électrique passera d'abord par un disjoncteur principal puis divisé par des disjoncteurs divisionnaires avant d'être servi dans tout le bâtiment. Ce système de disjoncteurs réduit considérablement le risque d'incendie par courts circuits.

IV. 5. Proposition et choix de variantes

L'étude d'un projet doit toujours commencer par une proposition de variantes. Énumérons d'abord les choix possibles.

Pour l'ossature, les variantes réalisables sont :

- ossature en béton armé ;
- ossature métallique.

Pour le plancher, les possibilités sont :

- plancher en dalle pleine ;
- plancher à corps creux.

Les façades seront juste munies de garde-fou, dont les matériaux éventuels sont :

- aluminium ;
- métallique ;
- brique ;
- parpaing ;
- voile.

Le choix entre ces plusieurs variantes passera par des analyses multicritères. Le principe sera de les noter sur une échelle de 1 à 3 suivant plusieurs critères afin d'additionner les points.

Tableau 15. *Barème de notation pour l'analyse multicritères.*

Point	1	2	3
Sens	Mauvais	Moyen	Bon

Pour l'ossature :

Tableau 16. *Analyse multicritères de l'ossature.*

Critères de comparaison	Ossature en béton armé	Ossature métallique
Résistance des matériaux	2	3
Comportement au feu	3	1
Durée de vie	2	3
Mise en œuvre	3	1
Coût	3	2
Disponibilité des matériaux	3	1
Poids	1	3
TOTAL	17	14

Pour le plancher :

Tableau 17. *Analyse multicritères du plancher.*

Critères de comparaison	en dalle pleine	à corps creux
Résistance des matériaux	3	2
Comportement au feu	3	2
Durée de vie	3	2
Mise en œuvre	3	2
Coût	3	2
Disponibilité des matériaux	3	2
Poids	1	2
TOTAL	19	14

Pour le garde-fou :

Tableau 18. *Analyse multicritères du garde-fou.*

Critères de comparaison	Aluminium	Métallique	Brique	Parpaing	Voile
Résistance des matériaux	1	3	2	2	3
Comportement au feu	1	1	2	2	3
Durée de vie	1	3	2	2	3
Mise en œuvre	2	2	3	3	3
Coût	2	2	3	3	2
Disponibilité des matériaux	2	2	3	3	3
Poids	3	3	2	2	1
Architecture	3	3	2	2	2
TOTAL	15	19	19	19	20

Pour ce qui est de la toiture, le choix est déjà fait. Puisqu'elle est prévue de recevoir des voitures, elle sera donc en terrasse. La structure sera choisie comme pour l'analyse multicritères du plancher.

Finalement, le choix de variantes mène vers le type ayant le plus de points, à savoir :

- une ossature en béton armé ;
- un plancher en dalle pleine ;
- un garde-fou en voile ;
- une toiture terrasse en dalle pleine.

Conclusion partielle

La conception architecturale de l'immeuble est faite suivant les normes en vigueur, dans le but de garantir un bon aspect visuel et un confort d'utilisation. Les éléments constitutifs du bâtiment ont été conçus afin d'assurer un maximum de confort et de sécurité pour les futurs usagers. Et enfin, les matériaux utilisés sont choisis pour assurer une bonne résistance, une aptitude à l'emploi, et la pérennité de l'ouvrage.

PARTIE II. ETUDES TECHNIQUES

CHAPITRE V. ETUDE PRELIMINAIRE

V. 1. Règlements de calcul

Pour tous les calculs dans cette partie, les règlements utilisés sont :

- le règlement NV 65 pour les effets du vent ;
- le règlement BAEL 91 modifié 99 pour la superstructure ;
- le DTU 13.12 pour la fondation.

V. 2. Hypothèses de calcul

Quelques hypothèses ont été prises afin de mener à bien les calculs.

V. 2. 1. États limites

L'état limite définit l'état pour lequel la structure ou un élément structurel ne parvient plus à assurer sa fonction. Pour le présent projet, deux états limites s'imposent :

- l'état limite ultime ou ELU, correspondant à l'état au-delà de laquelle une ruine de l'ouvrage peut survenir, dont la stabilité de la structure, la résistance des différents éléments et la stabilité de forme ;
- l'état limite de service ou ELS, assurant la limite des conditions normales d'utilisation et de durabilité. Il met en cause les conditions d'exploitation et la durabilité de l'ouvrage. Il s'agit surtout d'états limites de déformation et d'ouverture de fissures.

V. 2. 2. Combinaisons d'actions

Les combinaisons d'action selon l'ELU et l'ELS sont respectivement :

$$1,35G_{max} + G_{min} + 1,5Q_1 + \sum 1,3\psi_{0i}Q_i$$

$$G_{max} + G_{min} + 1,5Q_1 + \sum \psi_{0i}Q_i$$

G_{max} _ ensemble des actions permanentes défavorables, provoquant un effet de même sens que celui de l'action variable de base ;

G_{min} _ ensemble des actions permanentes favorables, provoquant un effet de sens contraire à celui de l'action variable de base ;

Q_1 _ action variable de base ;

Q_i _ action variable d'accompagnement ;

Les actions variables à prendre en compte pour ce projet sont la charge d'exploitation et l'effet du vent.

Si l'action variable d'accompagnement est le vent, $\psi_{0i} = 0,77$, et si c'est la charge d'exploitation, $\psi_{0i} = 0,87$.

Ce qui permet d'établir les combinaisons d'actions suivantes.

Tableau 19. *Combinaisons d'actions possibles.*

État limite		Combinaison
ELU	Cas 1	$1,35G + 1,5Q + W$
	Cas 2	$1,35G + 1,5W + 1,131Q$
ELS	Cas 1	$G + Q + 0,77W$
	Cas 2	$G + W + 0,87Q$

Le cas 1 correspond à la possibilité que la charge d'exploitation Q soit l'action variable de base, et le cas 2 correspond à l'inverse.

V. 3. Caractéristiques des matériaux de construction utilisés

V. 3. 1. Le sable

Un sable pour mortier et béton ne peut être que du sable de rivière exempt de mica et d'impureté. Les dimensions maximales de grains permises selon l'utilisation sont les suivantes :

- 2,5 mm pour maçonnerie, enduit et ragrément ;
- 5,0 mm pour béton armé ;
- 10,0 mm pour béton de propreté.

Il est à noter que l'emploi de sable de dune, de concassage, de broyage, et surtout de mer est formellement interdit.

V. 3. 2. Le granulat

Les graviers, gravillons et pierrailles utilisés dans le béton sont uniquement issus de concassage de pierre saine extraite de carrières. Ils sont constitués d'éléments denses, stables et exempts de toute trace de terre ou de débris végétaux.

Les dimensions de granulats intervenants dans la confection de béton sont le 5/15 et le 15/25.

V. 3. 3. Le ciment

Les ciments utilisés dans la construction sont le CEM I 42,5 pour les ossatures et le CEM II 32,5 pour les autres ouvrages.

Notons que les ciments doivent être conservés dans un endroit sec, ventilé et protégé du soleil.

V. 3. 4. L'eau de gâchage

L'eau facilite la mise en œuvre, hydrate le liant et les granulats, tout en servant à atteindre la plasticité requise du béton. L'eau utilisée dans la construction doit être propre, exempt de matière organique ou peu ouvrable, de produits chimiques. Elle doit répondre aux caractères dans la norme NF P 18-303.

Cependant, il faut tenir compte du dosage en eau, car un manque d'eau conduira à un béton sec, peu maniable et, un excès laissera des vides par évaporation dans le béton.

V. 3. 5. Le béton

V. 3. 5. 1. *Résistance caractéristique*

Pour la compression, on considère la valeur de la résistance à 28 jours d'âge noté f_{c28} . Elle est déterminée à partir d'un essai de résistance sur béton durci en forme d'éprouvette cylindrique de diamètre 16 cm et de hauteur de 32 cm. Avec un contrôle stricte, on peut atteindre $f_{c28} = 25 [MPa]$, à priori.

Les résistances de calcul du béton à l'ELU et à l'ELS sont calculées respectivement par les formules suivantes :

$$f_{bu} = 0,85 \frac{f_{c28}}{\theta \gamma_b}$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28}$$

γ_b coefficient de sécurité sur le béton :

$\gamma_b = 1,5$ pour une combinaison fondamentale, ce qui est le cas actuel ;

$\gamma_b = 1,15$ pour une combinaison accidentelle ;

θ _coefficient tenant compte de la durée d'application t des charges :

$$\theta = 0,85_durée \text{ d'application } t < 4 [h] ;$$

$$\theta = 0,90_durée \text{ d'application } 1 [h] < t < 24 [h] ;$$

$$\theta = 1,00_durée \text{ d'application } t > 24 [h], \text{ ce qui est le cas du présent projet.}$$

Pour la traction, la résistance du béton est calculée par la formule suivante :

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28}$$

Après avoir effectué les applications numériques, les valeurs de ces caractéristiques sont :

$$f_{bu} = 14,17 [MPa] ;$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 15,00 [MPa] ;$$

$$f_{t28} = 2,10 [MPa].$$

V. 3. 5. 2. Déformabilité

Le béton durci est un pseudo-solide en perpétuelle évolution. Ses propriétés sont fonction de son âge, de son histoire, des contraintes qu'il supporte et du milieu ambiant.

Il subit deux types de déformations. Le premier type est des déformations spontanées qui se produisent en l'absence de toutes charges et qui se traduisent par des variations de volume. Le deuxième type se présente comme des déformations sous-charges qui sont d'abord instantanées, élastiques ou plastiques, puis lentes sous charge de longue durée. Le béton est un matériau qui, sous l'application des charges de longue durée, va opérer une modification de sa structure interne afin de mieux accepter les sollicitations ; c'est le phénomène de fluage.

Les déformations spontanées se divisent en 2 :

- le module de déformation longitudinale instantanée, $t \leq 24 h$

$$E_{ij} = 11\,000 \sqrt[3]{f_{cj}}$$

- le module de déformation longitudinale différée, $t > 24 h$

$$E_{vj} = 3\,700 \sqrt[3]{f_{cj}} \approx \frac{1}{3} E_{ij}$$

f_{cj} valeur de la résistance à la compression à j jours d'âge.

Pour un béton à 28 jours d'âge, les modules de déformations sont :

$$E_{ij} = 32\,164,20 \text{ [MPa]} ;$$

$$E_{vj} = 10\,818,87 \text{ [MPa]}.$$

Le coefficient de Poisson, $\nu = 0,2$ pour le calcul des déformations et 0 pour le calcul des sollicitations, est le rapport entre la déformation transversale relative et la déformation longitudinale relative.

V. 3. 6. L'acier

Les aciers les plus couramment utilisés comme armature des structures en béton armé peuvent appartenir à l'une des catégories suivantes :

- acier en barre :
 - laminés à chaud sous forme de ronds lisses (RL) brute de laminage ;
 - à haute adhérence (HA) à surface latérale munie de nervures obliques régulièrement espacées ;
- fils tréfilés et/ou laminés à froid, en RL ou en HA ;
- treillis soudés (TS) obtenus par assemblage de barres ou de fils lisses ou HA en mailles carrées ou rectangulaire avec soudage électrique de chaque croisement en usine.

Le type d'acier utilisé ici est la haute adhérence.

V. 3. 6. 1. *Caractéristiques mécaniques*

Dans les calculs, l'acier est défini d'une part par la valeur garantie de sa limite d'élasticité f_e et d'autre part par la forme de son diagramme contrainte-déformation. Les différentes classe et limite d'élasticité garantie sont récapitulées dans le tableau suivant.

Tableau 20. *Principal classe et limite d'élasticité garantie des aciers.*

Type de produit	Désignation conventionnelle de la classe/nuance d'acier	f_e [MPa]
RL	Fe E 215	215
	Fe E 235	235
HA	Fe E 400	400
	Fe E 500	500
TS	TL 500	500
	TS HA	

Source : Cours Béton Armé _ Mme RAVAOHARISOA Lalatiana

La résistance de calcul à l'ELU de l'acier est telle que :

$$f_{ed} = \frac{f_e}{\gamma_s}$$

γ_s _coefficient de sécurité de l'acier :

$\gamma_s = 1,15$ _pour une combinaison fondamentale, ce qui est le cas actuel ;

$\gamma_s = 1,00$ _pour une combinaison accidentelle ;

$f_e = 500$ [MPa]_limite d'élasticité de l'acier choisi pour la construction ;

La résistance de calcul, pour le cas d'une fissuration préjudiciable s'écrit comme suit.

$$\bar{\sigma}_s = \text{Min} \left\{ \frac{2}{3} f_e; \text{Max}(0,5 f_e; 110 \sqrt{\eta f_{t28}}) \right\}$$

η _coefficient intervenant dans les calculs relatifs à la fissuration :

$\eta = 1$ _pour des RL ;

$\eta = 1,3$ _pour les HA de diamètre inférieur à 6 mm ;

$\eta = 1,6$ _pour les HA de diamètre supérieur ou égal à 6 mm, ce sera la valeur adoptée.

Après avoir effectué les applications numériques, les valeurs de ces caractéristiques sont :

$$f_{ed} = 434,78 \text{ [MPa]} ;$$

$$\bar{\sigma}_s = 250 \text{ [MPa]}.$$

V. 3. 6. 2. Enrobage

On considère un cas de fissuration peu préjudiciable, l'enrobage doit prendre la valeur de 2 cm ; et pour la fondation, il prend la valeur de 3 cm.

V. 4. Prédimensionnement

Le prédimensionnement consiste à évaluer au préalable les dimensions des éléments structuraux pour qu'ils puissent résister efficacement aux sollicitations auxquelles ils sont soumis. Il est indispensable avant toutes études techniques. Toutefois, ce n'est qu'une approche pouvant aboutir à des sous-dimensionnements ou à des surdimensionnements.

V. 4. 1. Choix du portique

Le choix du portique se fait arbitrairement sur une file transversale, comportant le poteau ayant la plus grande surface d'influence. Il est tout de même important de souligner que la file transversale est plus intéressante que la longitudinale ; du fait que la transversale soit plus susceptible de se renverser par rapport à l'autre file. Le choix est illustré dans la figure ci-dessous.

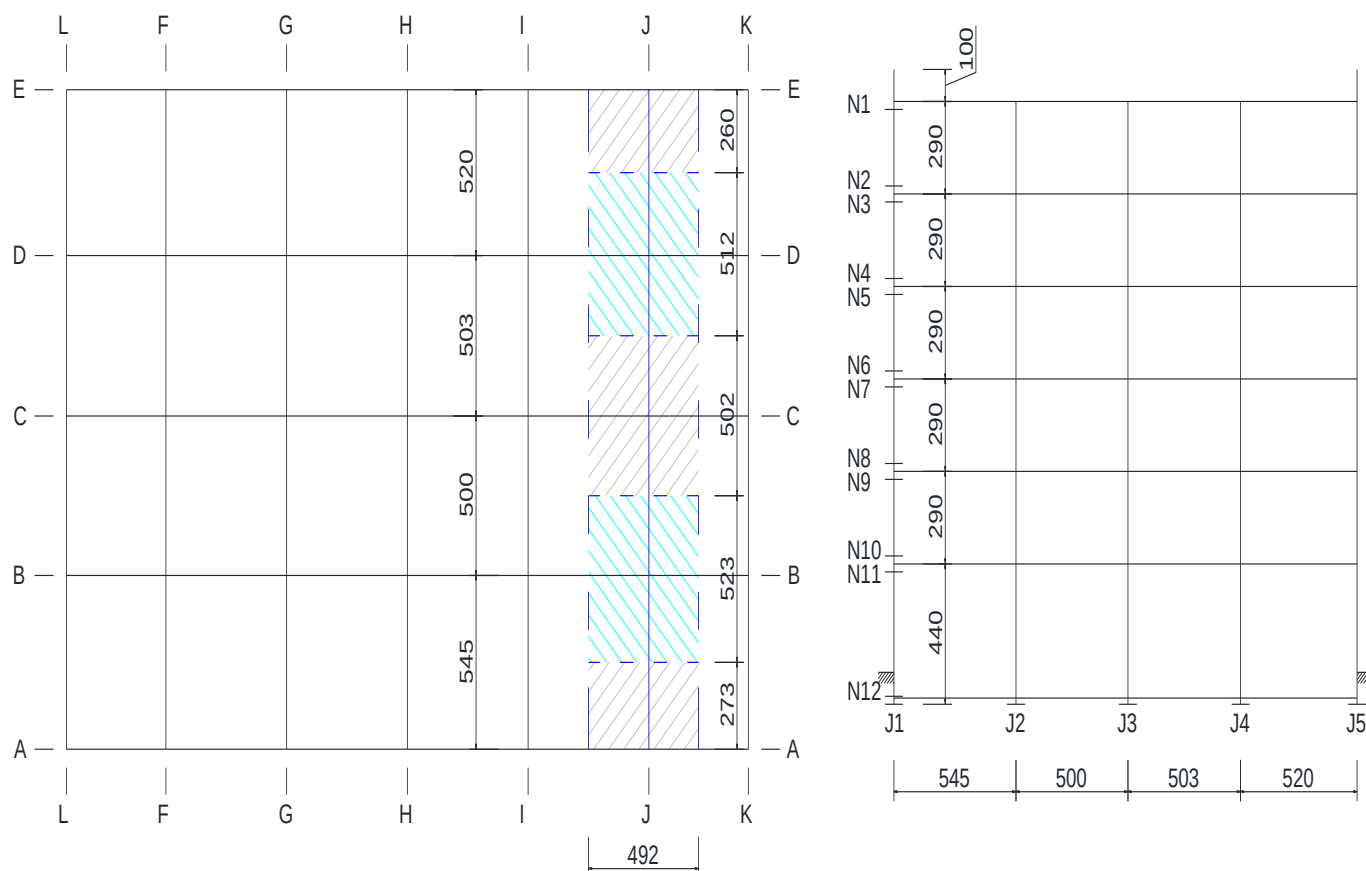


Figure 15. Choix du portique à étudier.

V. 4. 2. Plancher

Le choix a déjà été annoncé dans les chapitres précédents, le plancher sera en dalle pleine. Le plancher est un élément structural rectangulaire ayant une épaisseur faible par rapport à ses portées dans le sens de x et y . Les paramètres nécessaires pour la prédimensionnement sont les dimensions l_x et l_y , respectivement la petite et la grande dimension.

Avant d'effectuer le prédimensionnement, calculons α , afin de déterminer le sens de portée de la dalle.

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y}$$

Si la valeur de α est inférieure à 0,4 la dalle se porte dans un seul sens (ou sur 2 côtés) ; et dans le cas contraire, elle se porte dans deux sens (ou sur 4 côtés).

Si on se réfère à la dalle ayant la plus grande dimension :

$$l_x = 5,03 [m] ;$$

$$l_y = 5,40 [m].$$

Et selon les calculs, $\alpha = 0,93$; ce qui suggère une dalle portant dans deux sens.

Pour les cas d'une dalle continue portant dans deux sens, son épaisseur h est :

$$h \geq \frac{\sqrt{l_x l_y}}{40} = 0,13 [m]$$

Pour des raisons de dimensionnement et de vérifications vis-à-vis de son aptitude à l'emploi, prenons $h = 0,20 [m]$. Cette épaisseur est prise afin d'assurer le non poinçonnement du plancher.

V. 4. 3. Rampe

La rampe est assimilable à une dalle se trouvant dans un plan incliné. Ainsi, le prédimensionnement reste le même, ce qui implique une épaisseur de 20 cm.

V. 4. 4. Escalier

L'escalier est dans la même famille que les dalles et la rampe. Néanmoins, il ne supporte pas autant de charge que les deux dernières, donc fixons l'épaisseur de la paillasse à 20 cm.

V. 4. 5. Poteau

En supposant que les poteaux sont soumis à une compression centrée, tous les efforts verticaux sont repris par la section du béton seul, et que la durée d'application des charges est à plus de 24 h, la formule suivante permet de déterminer sa section B . Le poteau à dimensionner sera le poteau en BJ.

$$B \geq \frac{N}{0,9\overline{\sigma}_{bc}}$$

B la section du poteau ;

$N = nq'S$ Charge totale supportée par le poteau ;

n nombre d'étages supporté par le poteau ;

$q' = g + q$ somme de la charge permanente g et de la charge d'exploitation q ;

S surface d'influence du poteau.

Exemple de calcul : Poteau du rez-de-chaussée

$n = 6$;

$q' = 1,25 \text{ [MN]}$;

$S = 27,52 \text{ [m}^2\text{]}$;

$\overline{\sigma}_{bc} = 15,00 \text{ [MPa]}$;

$B \geq 0,15 \text{ [m}^2\text{]}$.

Pour une largeur $a = 0,45 \text{ [m]}$, $b = 0,34 \text{ [m]}$, ce qui suggère l'adoption d'un poteau à section carrée de $0,45 \times 0,45 \text{ [m}^2\text{]}$.

Tous les calculs sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 21. *Prédimensionnement des poteaux.*

Niveau	<i>n</i>	<i>q</i> [MN]	<i>S</i> [m ²]	$\overline{\sigma}_{bc}$ [Mpa]	<i>B</i> [m ²]	<i>a</i> [m]	<i>b</i> [m]	<i>b</i> [m] adopté
RDC	6	1,25	27,52	15,00	0,15	0,45	0,34	0,45
1	5				0,13	0,40	0,32	0,40
2	4				0,10	0,35	0,29	0,35
3	3				0,08	0,30	0,25	0,30
4	2				0,05	0,25	0,20	0,25
5	1				0,03	0,25	0,10	0,25

V. 4. 6. Poutre

Une poutre est conçue pour résister à la flexion, sa portée est supérieure ou égale à la hauteur totale de la section : $I_{eff} \geq 3h$.

Ce bâtiment sera muni de poutres à section rectangulaire.

La hauteur se calcule selon la formule suivante.

$$\frac{l}{20} \leq h \leq \frac{l}{16}$$

l _portée entre axe.

Sa base est déterminée à partir de la relation qui suit.

$$0,3h \leq b \leq 0,6h$$

Après calculs, les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 22. *Prédimensionnement des poutres.*

	<i>l</i> [m]	<i>l</i> /20	<i>l</i> /16	<i>h</i> [m]	0,30 <i>h</i>	0,60 <i>h</i>	<i>b</i> [m]
Longitudinale	5,40	0,27	0,34	0,30	0,09	0,18	0,18
Transversale	5,25	0,26	0,33	0,30	0,09	0,18	0,18

Pour les calculs ultérieurs, les dimensions plus adaptées, vis-à-vis de la flèche, sont :

- poutres transversales : $h = 0,50$ [m] et $b = 0,20$ [m] ;
- poutres longitudinales : $h = 0,55$ [m] et $b = 0,20$ [m].

Conclusion partielle

Les règlements de calculs ainsi que les hypothèses ont été posés. Les caractéristiques des matériaux ont été énoncées et calculées. Ensuite, les éléments en béton armé ont été prédimensionnés. En effet, ces caractéristiques ainsi que ces dimensions calculées au préalable sont modifiables si elles ne sont pas suffisantes pour la suite des calculs. Ces dimensions permettront d'évaluer le poids propre de chaque élément, et finalement celui de l'immeuble.