Manuel d'exercices et d'examens corrigés

CONCEPTION ET PRÉDIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES

Structures en béton armé

Projet de structure

Pr. Mouhcine BEN AICHA
École Nationale d'Architecture de Rabat

FIL CONDUCTEUR

Observer → Comprendre → Prédimensionner → Calculer → Vérifier → Dessiner

Avant-propos

Concevoir un bâtiment ne consiste pas uniquement à définir des espaces, des formes et des usages. Toute architecture doit également répondre à une logique constructive capable d'assurer la transmission des charges depuis les planchers jusqu'au sol de fondation.

Pour l'architecte, l'objectif n'est pas de se substituer à l'ingénieur structure, mais d'acquérir une compréhension suffisante du comportement structural pour intégrer, dès les premières phases de conception, les dimensions, les portées, les charges et les contraintes qui conditionnent la faisabilité du projet.

Le prédimensionnement constitue une étape essentielle. Il permet d'estimer les dimensions initiales des dalles, des poutres, des poteaux et des fondations, puis de vérifier leur cohérence avec l'organisation architecturale du bâtiment.

La descente de charges prolonge cette démarche en suivant le cheminement des efforts dans la structure. Les charges appliquées aux planchers sont transmises aux poutres, puis aux poteaux ou aux voiles, avant d'atteindre les fondations et finalement le sol.

Ce manuel privilégie une approche progressive, graphique et appliquée. Les notions essentielles sont introduites avant d'être mobilisées dans des exercices. Les calculs sont détaillés étape par étape afin de montrer non seulement comment calculer, mais surtout pourquoi le calcul est effectué et comment interpréter son résultat.

OBJECTIF PÉDAGOGIQUE

Développer une lecture structurale du projet architectural et acquérir les réflexes nécessaires pour passer d'un plan à un prédimensionnement cohérent.

Mode d'emploi

1. Lire les rappels essentiels placés au début de chaque chapitre.
2. Observer les schémas et identifier le fonctionnement structural avant d'engager les calculs.
3. Suivre les applications guidées pour comprendre la démarche de résolution étape par étape.
4. Traiter les exercices proposés avant de consulter leur correction.
5. Utiliser les examens corrigés pour apprendre à organiser une résolution complète.
6. Consulter le formulaire final pour retrouver rapidement les principales relations utilisées.

IMPORTANT

Les relations numériques et règles simplifiées reproduites dans ce manuel correspondent au cadre pédagogique des supports et exercices fournis. Pour un projet réel, les vérifications réglementaires complètes et les versions en vigueur des normes restent indispensables.

Sommaire

PARTIE I — COMPRENDRE AVANT DE CALCULER

1. Lire la structure d'un bâtiment
2. Actions, charges et sollicitations

PARTIE II — PRÉDIMENSIONNER LES ÉLÉMENTS

3. Planchers et dalles
4. Poutres
5. Poteaux

PARTIE III — DESCENTE DE CHARGES

6. Principe et cheminement des charges
7. Surface d'influence
8. Poids des éléments porteurs
9. Charges G et Q et cumul par niveaux
10. Application guidée R+3

PARTIE IV — POTEAUX, FONDATIONS ET STABILITÉ

11. Dimensionnement progressif des poteaux
12. Semelles isolées
13. Vérification de la stabilité

PARTIE V − EXERCICES PROGRESSIFS CORRIGÉS

PARTIE VI — EXAMENS CORRIGÉS

ANNEXES

A. Formulaire

B. Unités et conversions

C. Méthode de résolution en examen

PARTIE I — COMPRENDRE AVANT DE CALCULER

1. Lire la structure d'un bâtiment

Une forme architecturale ne peut se maintenir sans structure. La structure constitue le système qui reçoit les actions, les transmet d'un élément à l'autre et assure l'équilibre global de l'ouvrage.

Dans un bâtiment courant, la lecture structurale consiste d'abord à repérer les éléments horizontaux — dalles et poutres — puis les éléments verticaux — poteaux et voiles — et enfin les fondations.

CHEMINEMENT À RETENIR

Charges → Planchers → Poutres → Poteaux / Voiles → Fondations → Sol

1.1 Trois exigences fondamentales

Résistance mécanique : Chaque élément doit résister aux efforts qui lui sont appliqués.

Déformations : Les déformations doivent rester compatibles avec l'usage et la durabilité de l'ouvrage.

Équilibre global : Considéré dans son ensemble, le bâtiment doit rester stable.

2. Actions, charges et sollicitations

Les structures sont soumises au poids propre, aux charges permanentes, aux charges d'exploitation et aux actions climatiques. Le poids propre d'un élément est obtenu à partir de son volume et du poids spécifique du matériau.

$$\text{Poids propre} = \text{poids spécifique} \times \text{volume}$$

2.1 Charges permanentes G

Elles comprennent notamment les revêtements, cloisons, faux plafonds, gaines techniques et autres éléments fixes.

2.2 Charges d'exploitation Q

Elles sont liées à l'occupation et à l'usage des locaux. Dans les applications pédagogiques, les valeurs sont données dans l'énoncé.

2.3 Combinaison de calcul utilisée

$$Nu = 1{,}35\ G + 1{,}50\ Q$$

RÉFLEXE

Toujours distinguer clairement : poids propre de la structure, charges permanentes ajoutées et charges d'exploitation.

PARTIE II — PRÉDIMENSIONNER LES ÉLÉMENTS

3. Planchers et dalles

Le prédimensionnement d'une dalle pleine commence par l'identification de ses appuis et par le rapport entre la petite portée Lx et la grande portée Ly.

$$\alpha = Lx / Ly$$

Configuration	Critère	Conséquence
Appui sur 2 côtés parallèles ou 3 côtés	—	Dalle portée principalement dans une direction
Appui sur 4 côtés	$\alpha < 0,4$	Dalle portée dans une direction
Appui sur 4 côtés	$\alpha \geq 0,4$	Dalle portée dans deux directions

Dans le support de référence, l'épaisseur minimale retenue pour une dalle pleine est de 15 cm.

3.1 Exemple — dalle D8

La dalle D8 est appuyée sur quatre côtés et possède deux portées égales à 5 m. $\alpha = 5 / 5 = 1 > 0,4$

Elle travaille donc suivant deux directions. Comme elle est continue, la relation utilisée dans la correction est :

$$h \geq L / 40 = 5 / 40 = 0,125 \text{ m} = 12,5 \text{ cm}$$

La valeur minimale retenue conduit finalement à :

RÉSULTAT
Épaisseur de la dalle D8 : h = 15 cm

4. Poutres

Une poutre reçoit des charges perpendiculairement à son axe longitudinal et les transmet à ses appuis. Le prédimensionnement dépend notamment de la portée et du caractère isostatique ou continu de la poutre.

Dans les exercices fournis, les dimensions sont arrondies par pas de 5 cm et les dimensions minimales pédagogiques retenues sont bmin = 20 cm et hmin = 30 cm.

4.1 Exemple — poutre CD-3

$$h = L / 16 = 5 / 16 = 0,3125 \text{ m}$$

Avec un pas de 5 cm : h = 0,35 m.

$$b = 0,3\ h = 0,3 \times 0,35 = 0,105 \text{ m}$$

La largeur calculée étant inférieure au minimum retenu, on adopte : Poutre CD-3: 20 x 35 cm

5. Poteaux

Le poteau reprend les charges provenant des niveaux supérieurs. Son prédimensionnement est effectué à partir de l'effort normal ultime cumulé.

$$Sp = Nu / (0,6\ fc28)$$

$$Nu = 1,35\ G + 1,50\ Q$$

La section calculée constitue un ordre de grandeur. Les dimensions minimales et les dispositions réglementaires applicables doivent ensuite être vérifiées.

PARTIE III — DESCENTE DE CHARGES

6. Principe et cheminement des charges

La descente de charges a pour objectif d'étudier le transfert des charges dans la structure, depuis le niveau le plus haut jusqu'aux fondations. Pour chaque élément vertical, les charges reprises sont déterminées puis cumulées étage par étage.

La méthode exige des plans propres, complets et correctement numérotés. Une erreur de surface d'influence ou d'affectation d'un élément se propage dans toute la descente de charges.

MÉTHODE

1. Identifier le poteau étudié. 2. Déterminer sa surface d'influence. 3. Calculer les poids propres. 4. Calculer G et Q. 5. Cumuler niveau par niveau. 6. Calculer Nu. 7. Transmettre l'effort à la fondation.

7. Surface d'influence

La surface d'influence est la surface de plateau supportée par une colonne. Le plancher est partagé entre les différents poteaux afin d'attribuer à chacun la part de surface qui lui transmet des charges.

À ce stade, la méthode de cours précise qu'il n'est pas nécessaire de se préoccuper de l'orientation des poutres.

QUESTION À SE POSER

Quelle portion du plancher transmet effectivement ses charges au poteau étudié ?

8. Poids des éléments porteurs

$$P_{dalle} = \gamma \times e \times S_{influence}$$

$$P_{poutre} = \gamma \times b \times h \times L_{influence}$$

$$P_{poteau} = \gamma \times volume$$

Dans les applications en béton armé, le poids spécifique utilisé est généralement $\gamma = 25\ kN/m^3$.

9. Charges G et Q et cumul par niveaux

$$g = g_{donné} \times S_{influence}$$

$$q = q_{donné} \times S_{influence}$$

Les apports sont ensuite sommés afin d'obtenir les efforts dans le poteau à chaque niveau. Lorsque plusieurs niveaux sont considérés, le calcul est repris du haut vers le bas.

9.1 Loi de dégression

Le support de cours introduit également la loi de dégression des charges d'exploitation pour les bâtiments à plusieurs étages. Son application dépend du nombre d'étages et de la nature des charges ; elle doit être utilisée conformément aux données et au cadre réglementaire de l'exercice.

10. Application guidée — bâtiment R+3

Données de l'application : terrasse non accessible, étages courants et RDC ; poteaux 30×30 cm ; dalle de 15 cm ; semelle isolée ; poids spécifique du béton armé égal à 25 kN/m³.

Le calcul est organisé en deux familles :

Charges permanentes : poids des poutres + poids des dalles + poids des poteaux + charges permanentes de terrasse, d'étages et de RDC.

Charges d'exploitation : charges de terrasse + charges d'étages + charge de RDC.

$$G = Ppoutres + Pdalles + Ppoteaux + gterrasse + gétages + gRDC$$

$$Q = qterrasse + qétages + qRDC$$

Exemples de résultats intermédiaires fournis dans l'application :

Grandeur	Valeur
Poids des poutres	27 kN
Poids des dalles	135 kN
g terrasse	277,83 kN
g étages	198 kN
g RDC	237,6 kN
Poids d'un poteau d'étage	6,75 kN

LECTURE

Le calcul n'est pas une addition aveugle : chaque terme doit être rattaché à un niveau, à une surface d'influence et à un élément structural précis.

PARTIE IV — POTEAUX, FONDATIONS ET STABILITÉ

11. Dimensionnement progressif des poteaux

La correction de l'examen du 17 janvier 2022 illustre la logique de cumul des charges. Le poteau est vérifié successivement aux différents niveaux, puis au RDC.

11.1 Poteau P2 — niveau supérieur

$$G2 = 116{,}16\ \text{kN} ; Q2 = 35{,}10\ \text{kN}$$

$$Nu2 = 1{,}35\ G2 + 1{,}5\ Q2 = 209{,}466\ \text{kN}$$

$$Sp2 \approx 0{,}0125\ \text{m}^2 ; a2 \approx 0{,}11\ \text{m}$$

La dimension calculée reste inférieure au minimum retenu dans la correction ; la dimension adoptée est donc 0,25 m.

11.2 Poteau P1

$$G1 = 236{,}7575\ \text{kN} ; Q1 = 70{,}0438\ \text{kN}$$

$$Nu1 = 424{,}6883\ \text{kN}$$

$$Sp1 \approx 0{,}0253\ \text{m}^2 ; a1 \approx 0{,}16\ \text{m}$$

La dimension adoptée reste 0,25 m dans cette correction.

11.3 Poteau du RDC

$$GRDC = 357{,}355\ \text{kN} ; QRDC = 104{,}9876\ \text{kN}$$

$$NuRDC = 639{,}9106\ \text{kN}$$

$$SpRDC \approx 0{,}0381\ \text{m}^2 ; aRDC \approx 0{,}20\ \text{m}$$

La dimension retenue au RDC est également 0,25 m dans cet exercice.

12. Semelles isolées

La fondation reçoit les efforts transmis par le poteau et les diffuse vers le sol. Dans la correction de référence, l'épaisseur de la semelle est estimée à partir de l'effort ultime et de la contrainte admissible.

$$h = 0{,}22\ \sqrt{(Nu\ /\ \sigma adm)}$$

Pour l'exercice du 17 janvier 2022 :

$$G = 481{,}8587\ \text{kN} ; Q = 139{,}9314\ \text{kN}$$

$$Nu = 860{,}4063\ \text{kN}$$

$$h \approx 0{,}32\ \text{m}$$

La dimension en plan est ensuite déterminée par la relation utilisée dans la correction :

$$h \geq (A - a)/4 + 0{,}05$$

$$A = 4(h - 0{,}05) + a = 1{,}33\ \text{m}$$

RÉSULTAT DE L'EXERCICE

Semelle : épaisseur ≈ 0,32 m ; dimension en plan A ≈ 1,33 m.

13. Vérification de la stabilité

La stabilité vis-à-vis du sol est vérifiée en comparant la contrainte transmise à la contrainte admissible.

$$\sigma sol = (G + Q) / S$$

$$\text{Condition : } \sigma sol \leq \sigma adm$$

Cette vérification permet notamment d'évaluer l'effet d'une modification architecturale, par exemple l'ajout d'étages sans modification des fondations.

RÉFLEXE D'ARCHITECTE

Ajouter des niveaux modifie le cheminement des charges et peut remettre en cause les poteaux, les fondations et la stabilité globale. Une modification architecturale importante impose donc une nouvelle vérification structurale.

PARTIE V — EXERCICES PROGRESSIFS CORRIGÉS

14. Exercices de prédimensionnement

Exercice 19.1 — Dalle pleine

Une dalle continue carrée de 5 m × 5 m est appuyée sur ses quatre côtés. Déterminer son sens de portée et son épaisseur.

Correction :

$$\alpha = 5/5 = 1 \geq 0{,}4 \rightarrow \text{dalle portée suivant deux directions}$$

$$h \geq 5/40 = 0{,}125 \text{ m}$$

Avec l'épaisseur minimale retenue dans les supports : h = 15 cm.

Exercice 19.2 — Poutre

Une poutre isostatique de portée 5 m doit être prédimensionnée.

Correction :

$$h = L/16 = 0{,}3125 \text{ m} \rightarrow h \text{ retenue} = 0{,}35 \text{ m}$$

$$b = 0{,}3h = 0{,}105 \text{ m} \rightarrow b \text{ retenue} = 0{,}20 \text{ m}$$

RÉSULTAT
Section : 20 × 35 cm

15. Exercices de descente de charges

Exercice 20.1 — Poteau au 2e étage

Données issues de la correction : G2 = 116,16 kN ; Q2 = 35,10 kN ; fc28 = 28 MPa.

$$Nu2 = 1{,}35 \times 116{,}16 + 1{,}5 \times 35{,}10 = 209{,}466 \text{ kN}$$

$$Sp2 = (209{,}466 \times 10^3)/(0{,}6 \times 28) \approx 0{,}0125 \text{ m}^2$$

$$a2 = \sqrt{Sp2} \approx 0{,}11 \text{ m}$$

La dimension minimale retenue dans la correction est 0,25 m.

Exercice 20.2 — Poteau au RDC

Données : GRDC = 357,355 kN ; QRDC = 104,9876 kN.

$$NuRDC = 1{,}35 \times 357{,}355 + 1{,}5 \times 104{,}9876 = 639{,}9106 \text{ kN}$$

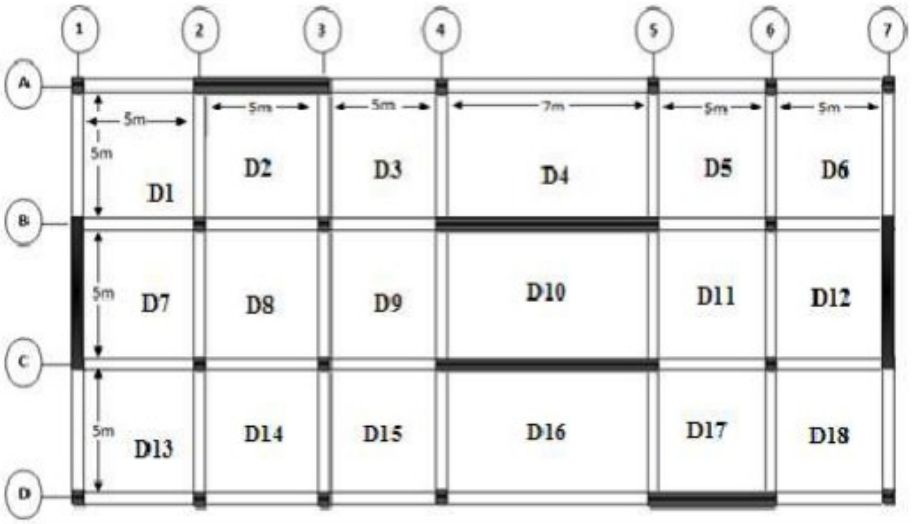
$$SpRDC \approx 0{,}0381 \text{ m}^2 \text{ ; } aRDC \approx 0{,}20 \text{ m}$$

Dimension retenue : 0,25 m.

PARTIE VI— EXAMENS CORRIGÉS

Examen 2022

Le bâtiment à étudier est un immeuble R+2 situé à Rabat.



- Charges (hormis le poids des éléments de la structure) :

g=4 KN/m² ; q=2,5 KN/m²

- Tous les étages courants ont une hauteur sous plafond de 3m.
- Le RDC a une hauteur sous plafond de 5,5 m.
- Toutes les dalles ont la même hauteur.
- Toutes les poutres ont les mêmes dimensions.
- fc28= 28MPa ;
- Poids spécifique = 25KN/m^3 - σadm=0.4MPa

On vous demande :

1/ de déterminer la hauteur de la dalle pleine D8.

2/ de déterminer la largeur et la hauteur de la poutre rectangulaire CD-3.

3/ de déterminer la section du poteau carré D2 de RDC. La largeur du poteau est elle suffisante ?

4/ de déterminer les dimensions de la semelle sous le Poteau D2.

Correction Examen 2022

Immeuble R+2, Rabat

Données : g = 4 kN/m² ; q = 2,5 kN/m² ; fc28 = 28 MPa ; poids spécifique du béton armé = 25 kN/m³ ; σadm = 0,4 MPa. Hauteur des étages courants : 3 m ; hauteur du RDC : 5,5 m.

1. Épaisseur de la dalle pleine D8

La dalle D8 est appuyée sur quatre côtés.

Rapport des portées :

$$\alpha = Lx / Ly = 5 / 5 = 1 > 0{,}4$$

La dalle D8 est donc portée suivant deux directions. Elle est également continue.

$$h \geq L / 40 = 5 / 40 = 0{,}125 \text{ m} = 12{,}5 \text{ cm}$$

Selon la règle minimale retenue dans la correction, l'épaisseur minimale d'une dalle pleine est de 15 cm.

Épaisseur retenue : hD8 = 15 cm (0,15 m)

2. Dimensions de la poutre CD-3

La poutre CD-3 est considérée isostatique, de portée L = 5 m.

$$h = L / 16 = 5 / 16 = 0{,}3125 \text{ m}$$

En adoptant un pas de 5 cm :

$$\mathbf{h = 0{,}35 \text{ m} = 35 \text{ cm}}$$

La largeur est estimée par :

$$b = 0{,}3\, h = 0{,}3 \times 0{,}35 = 0{,}105 \text{ m}$$

La largeur minimale retenue dans la correction est bmin = 20 cm.

Section retenue de la poutre CD-3 : 20 × 35 cm

3. Section du poteau carré D2 au RDC

Le calcul est effectué progressivement du niveau supérieur vers le RDC en cumulant les charges.

3.1 Poteau P2 — niveau supérieur

Surface d'influence associée au poteau D2 : 5,2 m × 2,7 m.

Poids des dalles :

$$P_{dalles} = 25 \times 0{,}15 \times [(2{,}5 \times 2{,}5) + (2{,}5 \times 2{,}5)] = 46{,}875 \text{ kN}$$

Poids des poutres :

$$P_{poutres} = 25 \times 0{,}20 \times 0{,}35 \times (2{,}5 + 2{,}5 + 2{,}5) = 13{,}125 \text{ kN}$$

Charge permanente complémentaire :

$$g2 = 4 \times (5{,}2 \times 2{,}7) = 56{,}16 \text{ kN}$$

Charge d'exploitation de terrasse :

$$Q2 = 2{,}5 \times (5{,}2 \times 2{,}7) = 35{,}10 \text{ kN}$$

$$\mathbf{G2 = 46{,}875 + 13{,}125 + 56{,}16 = 116{,}16 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{Nu2 = 1{,}35\ G2 + 1{,}5\ Q2 = 209{,}466 \text{ kN}}$$

$$Sp2 = (209{,}466 \times 10^3) / (0{,}6 \times 28) \approx 0{,}0125 \text{ m}^2$$

$$a2 = \sqrt{Sp2} \approx 0{,}11 \text{ m} = 11 \text{ cm}$$

La dimension minimale retenue dans la correction est supérieure à la valeur calculée.

3.2 Poteau P1

Pour le niveau suivant, la surface d'influence nette indiquée dans la correction est :

$$Sinf1 = (5{,}2 \times 2{,}7) - (0{,}25 \times 0{,}25) = 13{,}9775 \text{ m}^2$$

Charge permanente du niveau :

$$g1 = 4 \times Sinf1 = 55{,}91 \text{ kN}$$

Poids du poteau P2 :

$$PP2 = 25 \times 0{,}25 \times 0{,}25 \times 3 = 4{,}6875 \text{ kN}$$

$$\mathbf{G1 = 236{,}7575 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{Q1 = 35{,}10 + 34{,}9438 = 70{,}0438 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{Nu1 = 1{,}35 \times 236{,}7575 + 1{,}5 \times 70{,}0438 = 424{,}6883 \text{ kN}}$$

$$Sp1 \approx 0{,}0253 \text{ m}^2 \text{ ; } a1 = \sqrt{Sp1} \approx 0{,}16 \text{ m}$$

La correction adopte une largeur minimale de 0,25 m.

3.3 Poteau au RDC

$$\mathbf{GRDC = 357{,}355 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{QRDC = 104{,}9876 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{Nu,RDC = 1{,}35 \times 357{,}355 + 1{,}5 \times 104{,}9876 = 639{,}9106 \text{ kN}}$$

$$Sp,RDC = (639{,}9106 \times 10^3)/(0{,}6 \times 28) \approx 0{,}0381 \text{ m}^2$$

$$aRDC = \sqrt{Sp,RDC} \approx 0{,}20 \text{ m}$$

La dimension minimale retenue dans la correction est :

$$\mathbf{aRDC,min = 0{,}25 \text{ m} = 25 \text{ cm}}$$

Conclusion : la largeur calculée seule n'est pas suffisante au regard de la dimension minimale adoptée ; le poteau D2 du RDC est donc retenu à 25 × 25 cm.

4. Dimensions de la semelle sous le poteau D2

Pour la semelle isolée, la correction cumule les charges jusqu'au niveau de fondation.

$$\mathbf{G = 481{,}8587 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{Q = 139{,}9314 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{Nu = 1{,}35 \times 481{,}8587 + 1{,}5 \times 139{,}9314 = 860{,}4063 \text{ kN}}$$

Épaisseur de la semelle, suivant la relation utilisée dans la correction :

$$h = 0{,}22 \sqrt{(Nu / \sigma adm)}$$

$$\mathbf{h = 0{,}22\ \sqrt{[(860{,}4063 \times 10^{-3})/0{,}4]} \approx 0{,}32\ m}$$

La relation géométrique utilisée pour la dimension en plan est :

$$h \geq (A - a)/4 + 0{,}05$$

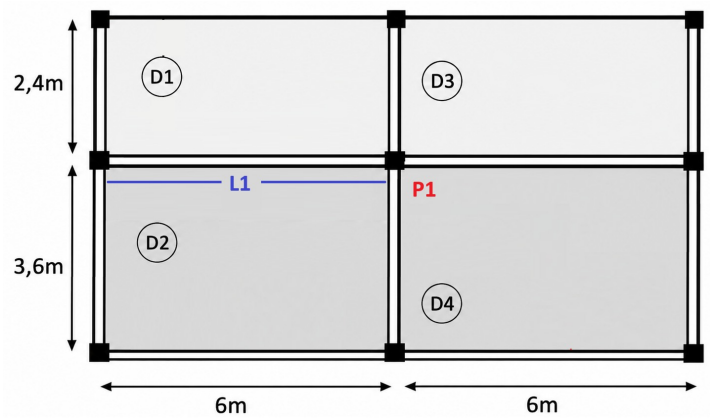
$$A = 4(h - 0{,}05) + a$$

$$\mathbf{A = 4(0{,}32 - 0{,}05) + 0{,}25 = 1{,}33\ m}$$

Synthèse des résultats

Élément	Résultat retenu
Dalle D8	h = 15 cm
Poutre CD-3	20 × 35 cm
Poteau D2 au RDC	25 × 25 cm
Semelle isolée	h ≈ 0,32 m ; A ≈ 1,33 m

Examen 2023



Données

- Charges (hormis le poids des éléments de la structure) sur chaque plancher :
  - g = 5 kN/m²
  - q = 2,5 kN/m²
- Tous les étages courants ont une hauteur de 2,8 m.
- Le RDC a une hauteur sous plafond de 4 m.
- fc28 = 30 MPa et σsol = 0,55 MPa

On vous demande :

1/ De déterminer la hauteur (épaisseur) de la dalle pleine D1.

2/ De déterminer la largeur et la hauteur de la poutre rectangulaire L1.

3/ De déterminer la largeur du poteau carré P1 du RDC.
La largeur du poteau est-elle suffisante ?

4/ De déterminer les dimensions de la semelle sous le poteau P1.

Correction Examen - 2023

Données du plan

Surfaces lues sur le plan :

S1 = 4,2 m²

S2 = 4,2 m²

S3 = 8,4 m²

S4 = 8,4 m²

Surface totale = 25,2 m²

Surface influente initiale : Sinf0 = 4,4 × 6,2 = 27,28 m².

1. Détermination de l'épaisseur de la dalle pleine D1

La dalle D1 est continue.

$$e = l_x / 25 = 1,4 / 25 = 0,056 \text{ m}$$

En tenant compte de l'épaisseur minimale adoptée selon le RPS :

Épaisseur D1 = 0,15 m (15 cm)

2. Détermination de la largeur et de la hauteur de la poutre rectangulaire L1

Pré-dimensionnement de la poutre :

$$h = L / 16 = 6 / 16 = 0,375 \text{ m}$$

Avec un pas de 5 cm :

h = 0,40 m (40 cm)

$$b = 0,30 \times h = 0,30 \times 0,40 = 0,12 \text{ m}$$

Avec un pas de 5 cm : b = 0,15 m.

Selon le RPS, la largeur minimale retenue est :

b = 0,20 m (20 cm)

3. Détermination de la largeur des poteaux

Relation de pré-dimensionnement utilisée :

$$\text{Section} = N_u / (0,6 \times f_{c28})$$

$$N_u = 1,35\ G + 1,5\ Q$$

3.1. Largeur du poteau P2

Charges permanentes :

$$G = P_dalles + P_poutres + gr0$$

$$P_dalles = \text{poids spécifique} \times \text{volume des dalles}$$

$$P_dalles = 25 \times 0{,}15 \times 25{,}2 = 94{,}5 \text{ kN}$$

Poids spécifique du béton armé : 25 kN/m³.

$$P_poutres = \text{poids spécifique} \times \text{volume des poutres}$$

$$P_poutres = 25 \times 0{,}20 \times 0{,}40 \times 10{,}2 = 20{,}4 \text{ kN}$$

Longueur totale des poutres : 3 + 3 + 2,8 + 1,4 = 10,2 m.

$$gr0 = q \times Sinf0 = 5 \times 27{,}28 = 136{,}4 \text{ kN}$$

$$Q0 = q \times Sinf0 = 2{,}5 \times 27{,}28 = 68{,}2 \text{ kN}$$

$$G = 94{,}5 + 20{,}4 + 136{,}4 = 251{,}3 \text{ kN}$$

$$N_u = (1{,}35 \times 251{,}3) + (1{,}5 \times 68{,}2) = 441{,}555 \text{ kN}$$

$$\text{Section P2} = (441{,}555 \times 10^{-3}) / (0{,}6 \times 30) = 0{,}0245 \text{ m}^2$$

$$\text{Largeur P2} = \sqrt{0{,}0245} = 0{,}16 \text{ m} \approx 16 \text{ cm}$$

Selon le RPS :

Largeur P2 = 0,25 m

3.2. Largeur du poteau P1

Pour le niveau P1 :

$$G = (2 \times P_dalles) + (2 \times P_poutres) + gr0 + gr1 + P_poteau2$$

$$gr1 = q \times Sinf1$$

$$Sinf1 = Sinf0 - (0{,}25 \times 0{,}25) = 27{,}22 \text{ m}^2$$

$$gr1 = 5 \times 27{,}22 = 136{,}1 \text{ kN}$$

$$P_poteau2 = \text{poids volumique} \times \text{volume} = 25 \times 0{,}25 \times 0{,}25 \times 2{,}8 = 4{,}375 \text{ kN}$$

$$Q = Q0 + Q1$$

$$Q1 = 2{,}5 \times 27{,}22 = 68{,}05 \text{ kN}$$

$$G = (2 \times 94{,}5) + (2 \times 20{,}4) + 136{,}4 + 136{,}1 + 4{,}375 = 506{,}675 \text{ kN}$$

$$Q = 68{,}2 + 68{,}05 = 136{,}25 \text{ kN}$$

$$N_u = (1{,}35 \times 506{,}675) + (1{,}5 \times 136{,}25) = 888{,}3862 \text{ kN}$$

$$\text{Section P1} = (888{,}3862 \times 10^{-3}) / (0{,}6 \times 30) = 0{,}0493 \text{ m}^2$$

$$\text{Largeur P1} = \sqrt{0{,}0493} \approx 0{,}22 \text{ m}$$

Selon le RPS :

Largeur P1 = 0,25 m

3.3. Largeur du poteau du RDC

Relations indiquées dans la correction :

$$G = (3 \times P_dalles) + (3 \times P_poutres) + gr0 + gr1 + gr2 + P_poteau1 + P_poteau2$$

$$Q = Q0 + Q1 + Q2$$

$$gr1 = gr2$$

$$Q1 = Q2$$

$$P_poteau1 = P_poteau2$$

$$G = (3 \times 94{,}5) + (3 \times 20{,}4) + 136{,}4 + 136{,}1 + 136{,}1 + 4{,}375 + 4{,}375 = 762{,}024 \text{ kN}$$

$$Q = 68{,}2 + 68{,}05 + 68{,}05 = 204{,}3 \text{ kN}$$

$$N_u = 1335{,}1824 \text{ kN}$$

$$\text{Section PRDC} = (1335{,}1824 \times 10^{-3}) / (0{,}6 \times 30) = 0{,}074 \text{ m}^2$$

$$\text{Largeur PRDC} = \sqrt{0{,}074} \approx 0{,}27 \text{ m, avec un pas de 5 cm}$$

Largeur PRDC = 0,30 m

4. Détermination des dimensions de la semelle sous le poteau P1

La charge ultime sur la semelle est calculée à partir des charges cumulées.

$$G = (4 \times P_dalles) + (4 \times P_poutres) + gr0 + gr1 + gr2 + gr3 + P_poteau1 + P_poteau2 + P_poteauRDC$$

$$gr3 = q \times Sinf3$$

$$Sinf3 = Sinf0 - (0{,}30 \times 0{,}30) = 27{,}19 \text{ m}^2$$

$$gr3 = 5 \times 27{,}19 = 135{,}95 \text{ kN}$$

$$Q3 = q \times Sinf3 = 2{,}5 \times 27{,}19 = 67{,}975 \text{ kN}$$

$$P_poteau\ RDC = 25 \times 0{,}30 \times 0{,}30 \times 4 = 9 \text{ kN}$$

$$G = (4 \times 94{,}5) + (4 \times 20{,}4) + 136{,}4 + 136{,}1 + 136{,}1 + 135{,}95 + 4{,}375 + 4{,}375 + 9 = 1021{,}9 \text{ kN}$$

$$Q = Q0 + Q1 + Q2 + Q3 = 68{,}2 + 68{,}05 + 68{,}05 + 67{,}975 = 272{,}275 \text{ kN}$$

$$N_u = 1{,}35\ G + 1{,}5\ Q = (1{,}35 \times 1021{,}9) + (1{,}5 \times 272{,}275) = 1787{,}9775 \text{ kN} \approx 1{,}7879 \text{ MN}$$

Épaisseur de la semelle :

$$h = 0{,}22 \sqrt{(N_u / \sigma_adm)} = 0{,}22 \sqrt{(1{,}7879 / 0{,}55)} \approx 0{,}40 \text{ m}$$

h = 0,40 m

Dimension en plan de la semelle :

$$A = 4(h - 0{,}05) + \text{largeur PRDC}$$

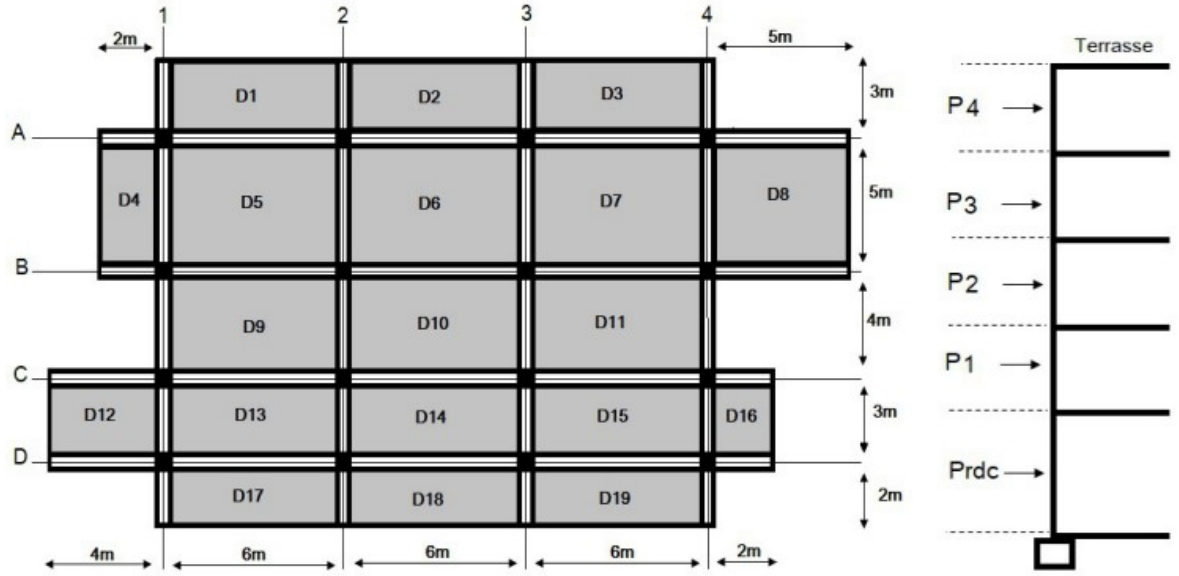
$$A = 4(0{,}40 - 0{,}05) + 0{,}30 = 1{,}70 \text{ m}$$

Semelle : A = 1,70 m

Synthèse des résultats

Élément	Dimension retenue
Dalle pleine D1	e = 15 cm
Poutre L1	b × h = 20 × 40 cm
Poteau P2	25 × 25 cm
Poteau P1	25 × 25 cm
Poteau RDC	30 × 30 cm
Semelle sous poteau	A = 1,70 m ; h = 0,40 m

Examen - 2024



Vue en plan **Vue en élévation**

Données :

- Charges (hormis le poids des éléments de la structure) : g=10 KN/m² ; q=2,5 KN/m²
- Tous les étages courants ont une hauteur de 3m. - Le RDC a une hauteur de 6 m.
- fc28= 30 MPa - Poids spécifique = 25KN/m - σsol=0,55MPa.

On vous demande :

1/ de déterminer l'épaisseur de la dalle pleine « D1 ».

2/ de déterminer la largeur et la hauteur de la poutre rectangulaire « A-3-4 ».

3/ de déterminer la section du poteau carré « A4 » de RDC. La section du poteau est elle suffisante ? 4/ de déterminer les dimensions de la semelle sous le Poteau « A4 » ?

5/ Le constructeur veut modifier ce plan en ajoutant troix étages (dont la largeur des poteaux est fixée à 25cm).

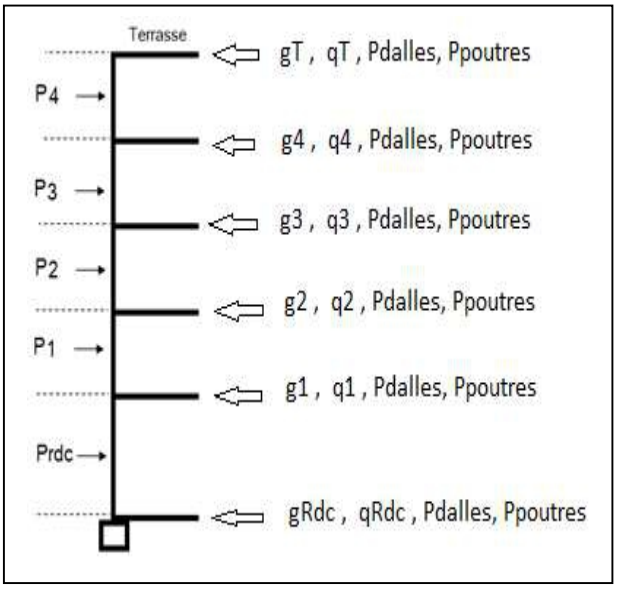
Correction Examen 2024

1/ épaisseur de la dalle D1 : ép.=0,15m (15cm).

2/ Dimensions de la poutre L1 de 6m de longueur :

- La hauteur: h=0,40 m (40cm)
- La largeur : b=0,20m (20cm)

3/Dimensions du Poteau P1 de RDC :



***poteau P1 de 4ème étage :

- Surface d'influence (terrasse)=31,74m²
- Pdalles=108,75KN
-Poutres=27KN
- gT (revêtement terrasse)=317,4KN
-qT =79,35KN
-Nu =730,7775KN
-largeur calculée a=0,20m
-largeur parasismique (réelle)= 0,25m
-section réelle=0,0625m²

***poteau P1 de 3ème étage :

- Surface d'influence (étage)=31,6775m²
- Pdalles=108,75KN
-Poutres=27KN
- g4(revêtement étage)=316,775KN
-q4 =79,1938KN
-Poids propre P1 de 4ème étage=4,6875KN
-Nu =1466,805KN
-largeur calculée a =0,28m
-largeur avec un pas de 5 (réelle)= 0,30m
-section réelle=0,09m²

***poteau P1 de 2ème étage :

- Surface d'influence (étage)=31,65m²
- Pdalles=108,75KN
-Poutres=27KN
- g3(revêtement étage)=316,5KN
-q3 =79,125KN
-Poids propre P1 de 3ème étage=6,75KN
-Nu =2205,1425KN
-largeur calculée a =0,35m
-largeur avec un pas de 5 (réelle)= 0,35m

-section réelle=0,1225m²

***poteau P1 de 1ère étage :

- Surface d'influence (étage)=31,6175m²
- Pdalles=108,75KN
-Poutres=27KN
- g2(revêtement étage)=316,175KN
-q2 =79,0438KN
-Poids propre P1 de 2ème étage=9,1875KN
-Nu =2946,21KN
-largeur calculée a =0,40m
-largeur avec un pas de 5 (réelle)= 0,40m
-section réelle=0,16m²

***poteau P1 de RDC :

- Surface d'influence (étage)=31,5763m²
- Pdalles=108,75KN
-Poutres=27KN
- g1(revêtement étage)=315,7632KN
-q1 =78,9408KN
-Poids propre P1 de 1ème étage=12,2759KN
-Nu =3690,7365KN
-largeur calculée a =0,45m
-largeur avec un pas de 5 (réelle)= 0,45m
-section réelle=0,2025m²

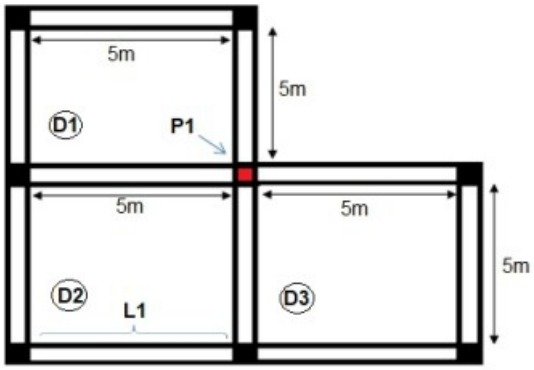
4/Dimensions de la semelle sous le Poteau P1 de RDC :

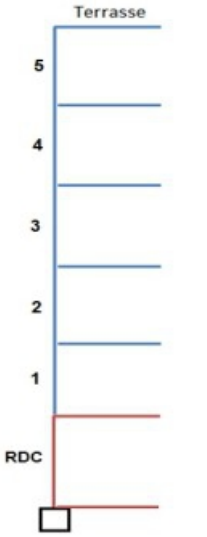
- Surface d'influence (RDC)=31,475m² - Pdalles (dallage)=108,75KN -Poutres (longrines)=27KN
- grdc(revêtement étage)=314,75KN -qrdc=78,6875KN
-Poids propre P1 de rdc=30,375KN
-Nu =4 339,4517KN
(G=2775,1391KN et Q (n=5)=395,3426KN)
-hauteur de la semelle : h=0,62m
-Longueur de la semelle : A=B=2,57m

5/vérification de la stabilité :

- G golobale = 4249,1525KN
- Qglobales=514,2433KN (loi de dégression avec n=8)
- Surface de la semelle : S=6,6049m²
- ----Bâtiment instable ! (0,55 <0,72)

Examen 2025





Plan d'élévation

- Charges (hormis le poids des éléments de la structure) sur chaque plancher :

$g=4\ KN/m^2$; $q=2,5\ KN/m^2$

- Tous les étages courants ont une hauteur de 3m.
- Le RDC a une hauteur sous plafond de 5m.
- $fc28=\ 28MPa$; $\sigma sol=\ 0,75\ MPa$.
- Poids spécifique = $25KN/m^3$

On vous demande :

1/ de déterminer la hauteur (épaisseur) de la dalle pleine D1.

2/ de déterminer la largeur et la hauteur de la poutre rectangulaire L1.

3/ de déterminer la section du poteau carré P1de RDC. La largeur du poteau est-elle suffisante ?

4/ de déterminer les dimensions de la semelle sous le Poteau P1.

5/ le constructeur veut modifier ce plan en ajoutant trois autres étages (dont la largeur des poteaux est fixée à 25cm).

Sachant que l'architecte ne veut pas changer les dimensions initiales de la structure, vérifier la stabilité du bâtiment ?

Correction Examen 2025

1. Épaisseur de la dalle pleine D1

La dalle D1 est une dalle continue.

Le panneau est porté suivant deux directions : $\alpha = Lx/Ly = 5/5 = 1 > 0,4$. Il s'agit donc d'une dalle travaillant dans deux directions.

Pour une dalle continue portée dans deux directions : $h \geq Lx/40$.

$h \geq 5/40 = 0,125$ m.

Selon le RPS, l'épaisseur minimale d'une dalle pleine est de 15 cm.

Résultat retenu : hD1 = 0,15 m = 15 cm.

2. Dimensions de la poutre rectangulaire L1

Portée de la poutre : L = 5 m. La poutre est considérée isostatique (sur deux poteaux).

Principe de prédimensionnement : $h = L/16 = 5/16 = 0,3125$ m.

Avec un pas de 5 cm, on adopte h = 0,35 m.

Largeur théorique : $b = 0,3\ h = 0,3 \times 0,35 = 0,105$ m.

Selon le RPS, la largeur minimale est de 20 cm.

Résultat retenu : b = 0,20 m ; h = 0,35 m.

3. Section du poteau carré P1 du RDC

Zone d'influence du poteau :

$Sinf = (5,2 \times 5,2) - (2,5 \times 2,5) = 20,79$ m².

3.1. Poteau du 5e étage

Pré-dimensionnement : $Sp5 = Nu5 / (0,6 \times fc28)$, avec $Nu5 = 1,35\ G5 + 1,5\ Q5$.

Poids propre des dalles : $Pdalles = 25 \times 0,15 \times [3 \times (2,5 \times 2,5)] = 70,3125$ kN.

Poids propre des poutres : $Ppoutres = 25 \times 0,20 \times 0,35 \times (4 \times 2,5) = 17,5$ kN.

Poids des revêtements sur la terrasse : $grt = g \times Sinf = 4 \times 20,79 = 83,16$ kN.

$G5 = 70,3125 + 17,5 + 83,16 = 170,9725$ kN.

$Q5 = q \times Sinf = 2,5 \times 20,79 = 51,975$ kN.

$Nu5 = 1,35 \times 170,9725 + 1,5 \times 51,975 = 308,7754$ kN.

$Sp5 = 308,7754 \times 10^{-3} / (0,6 \times 28) = 0,0184$ m².

$a = \sqrt{Sp5} \approx 0,14$ m. Selon le RPS, la largeur minimale retenue est 0,20 m.

Adoption : a5 = 0,20 m.

3.2. Poteau du 4e étage

$Sp4 = Nu4 / (0,6 \times fc28)$, avec $Nu4 = 1,35\ G4 + 1,5\ Q4$.

Surface utile : $Sinf4 = Sinf - Sp5 = 20,79 - (0,20 \times 0,20) = 20,75$ m².

Charge permanente du niveau : $gr4 = 4 \times 20,75 = 82,91$ kN.

Poids du poteau supérieur : $Ppoteau5 = 25 \times (0,20 \times 0,20) \times 3 = 3,00$ kN.

$G4 = (2 \times 70,3125) + (2 \times 17,5) + 83,16 + 82,91 + 3,00 = 344,695$ kN environ.

Q4 = 51,975 + (2,5 × 20,75) = 103,85 kN environ.

Nu4 ≈ 623,3 kN.

Sp4 ≈ 0,0371 m² ; a ≈ 0,19 m.

Selon le RPS : a4 = 0,20 m.

3.3. Poteau du 3e étage

G3 = (3 × 70,3125) + (3 × 17,5) + 83,16 + 82,91 + 82,91 + 2 × 3,00 ≈ 521,79 kN.

Q3 = 51,975 + 51,8188 + 51,8188 ≈ 155,61 kN.

Nu3 ≈ 937,84 kN.

Sp3 = Nu3 × 10^{-3} / (0,6 × 28) ≈ 0,0558 m².

a ≈ 0,23 m ; avec le pas de 5 cm, on adopte a3 = 0,25 m.

3.4. Poteau du 2e étage

En cumulant les charges permanentes et d'exploitation des niveaux supérieurs :

G2 ≈ 697,22 kN.

Q2 ≈ 207,43 kN.

Nu2 ≈ 1 252,37 kN.

Sp2 ≈ 0,0745 m² ; a ≈ 0,27 m.

Avec le pas de 5 cm : a2 = 0,30 m.

3.5. Poteau du 1er étage

La section du poteau du niveau supérieur étant 0,30 × 0,30 m, la surface utile devient environ 20,70 m².

Poids d'un poteau de 3 m de hauteur et de section 0,30 × 0,30 m : 25 × 0,30 × 0,30 × 3 = 6,75 kN.

G1 ≈ 878,8 kN.

Q1 ≈ 259,18 kN.

Nu1 ≈ 1 569,43 kN.

Sp1 ≈ 0,0934 m² ; a ≈ 0,30 m.

Adoption : a1 = 0,30 m.

3.6. Poteau du RDC

La descente de charges est poursuivie jusqu'au RDC en tenant compte des dalles, poutres, revêtements, charges d'exploitation et poids propres des poteaux.

GRDC ≈ 1 051,03 kN.

La charge d'exploitation au RDC est obtenue par la loi de dégression indiquée dans la correction manuscrite.

QRDC ≈ 259,14 kN.

Nu,RDC = 1,35 GRDC + 1,5 QRDC ≈ 1 808,81 kN.

Sp,RDC = 1 808,81 × 10^{-3} / (0,6 × 28) ≈ 0,1077 m².

a = √Sp,RDC ≈ 0,33 m.

Avec un pas de 5 cm : aRDC = 0,35 m.

Résultat : poteau P1 au RDC = 0,35 m × 0,35 m.

4. Dimensions de la semelle sous le poteau P1

Poteau carré → semelle isolée carrée.

La hauteur de la semelle est estimée par : $h = 0{,}22 \sqrt{(Nu / \sigma adm)}$.

La descente de charges est poursuivie jusqu'à la semelle en intégrant un niveau supplémentaire de dalle/poutre, le poteau du RDC et les charges correspondantes.

Surface d'influence à la semelle : $Sinf,s = Sinf - Sp,RDC = 20{,}79 - (0{,}35 \times 0{,}35) = 20{,}6675$ m².

Charge permanente correspondante : $gsemelle = 4 \times 20{,}6675 = 82{,}67$ kN.

Poids du poteau du RDC : $25 \times 0{,}35 \times 0{,}35 \times 5 = 15{,}3125$ kN.

$G \approx 1\,237{,}7$ kN ; $Q \approx 284{,}94$ kN.

$Nu,s \approx 2\,098{,}31$ kN.

$h = 0{,}22 \sqrt{[(2\,098{,}31 \times 10^{-3}) / 0{,}75]} \approx 0{,}37$ m.

Pour la semelle carrée : A = B.

$A = B = [4 \times (h - 0{,}05)] + aRDC$.

$A = B = [4 \times (0{,}37 - 0{,}05)] + 0{,}35 = 1{,}63$ m.

Dimensions retenues : semelle ≈ 1,63 m × 1,63 m ; h ≈ 0,37 m.

5. Vérification après ajout de trois étages

Le constructeur ajoute trois étages supplémentaires, avec une largeur de poteaux fixée à 25 cm, sans modification des dimensions initiales de la structure.

La descente de charges est reprise pour l'ensemble du bâtiment modifié.

Charges permanentes cumulées : $G \approx 1\,788{,}53$ kN.

Charges d'exploitation cumulées, avec application de la loi de dégression : $Q \approx 362{,}63$ kN.

Surface de la semelle existante : $S = A \times B = 1{,}63 \times 1{,}63 = 2{,}6569$ m².

Contrainte moyenne transmise au sol : $(G + Q) / S \approx 0{,}8096$ MPa.

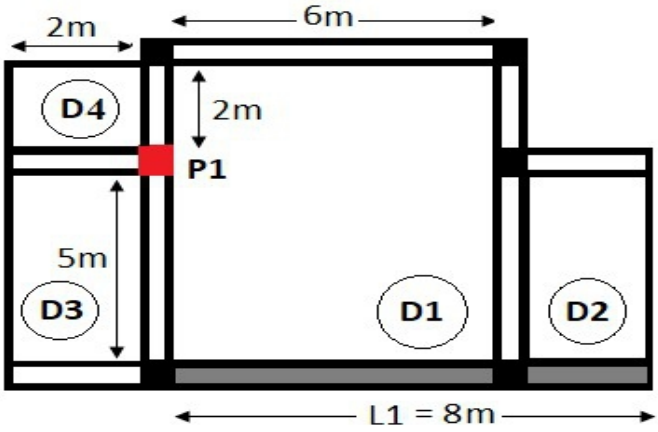
Contrainte admissible du sol : $\sigma sol = 0{,}75$ MPa.

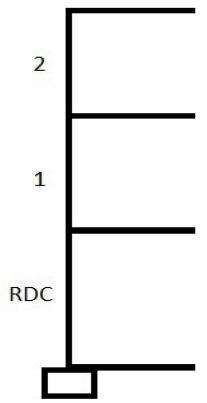
$0{,}8096 \text{ MPa} > 0{,}75 \text{ MPa}$.

Conclusion : le bâtiment modifié est instable au regard de la vérification de la contrainte transmise au sol ; les dimensions initiales de la fondation ne sont plus suffisantes.

Examen 2026

Le bâtiment à étudier est un immeuble d'importance vitale (R+2) situé à Rabat (Voir l'extrait du plan ci-dessous).





Plan d'élévation

- Charges (hormis le poids des éléments de la structure) sur chaque plancher : g=4 KN/m² ; q=2 KN/m²
- chaque étage a une hauteur de 2,8m ; le RDC a une hauteur de 4m.
- fc28= 30MPa ; σsol= 0,856 MPa ; Poids spécifique_Béton armé = 25KN/m^3 ; Liaison : double encastrement

1/ Déterminer la hauteur (épaisseur) de la dalle pleine D1.

2/ Déterminer la largeur et la hauteur de la poutre rectangulaire L1.

3/ Déterminer la section du poteau carré P1 du RDC. La largeur du poteau est-elle suffisante ?

Hypothèses : toutes les poutres ont les mêmes dimensions que la poutre L1 et toutes les dalles sont identiques à la dalle D1.

4/ Vérifier la résistance au flambement du Poteau « P1 » du RDC ?

5/ Déterminer le nouveau pourcentage d'acier nécessaire pour assurer la résistance du poteau au flambement.

6/ Le constructeur souhaite modifier le projet en ajoutant trois niveaux supplémentaires, avec une largeur de poteaux de 25 cm et une hauteur d'étage de 2,8 m. Sachant que l'architecte ne souhaite pas modifier les dimensions initiales de la structure, déterminer les dimensions de la semelle sous le poteau P1.

7/ Le constructeur propose de modifier une nouvelle fois le plan en ajoutant un étage supplémentaire, avec une largeur de poteau également fixée à 25 cm. Sachant que l'architecte ne souhaite pas modifier les dimensions initiales de la structure, quelle sera la hauteur maximale de l'étage ajouté pour garantir la stabilité du bâtiment ?

ANNEXES

A. Formulaire

Grandeur	Relation utilisée dans les supports
Poids propre	$P = \gamma V$
Dalle	$P_{dalle} = \gamma\ e\ S$
Poutre	$P_{poutre} = \gamma\ b\ h\ L$
Poteau	$P_{poteau} = \gamma V$
Charge surfacique	g = gdonné S ; q = qdonné S
Combinaison ELU utilisée	$N_u = 1{,}35G + 1{,}50Q$
Poteau BA — prédimensionnement	$S_p = N_u/(0{,}6\ f_{c28})$
Stabilité du sol	$\sigma_{sol} = (G+Q)/S \leq \sigma_{adm}$

B. Unités et conversions

1 kN = 10^3 N; 1 MN = 10^3 kN; 1 MPa = 1 MN/m² = 1 N/mm²

Toujours convertir les dimensions dans un système cohérent avant le calcul.

C. Méthode de résolution en examen

1. Identifier précisément l'élément demandé.
2. Relever toutes les données utiles et leurs unités.
3. Faire un schéma simple avant le calcul.
4. Écrire la relation utilisée avant de remplacer par les valeurs numériques.
5. Effectuer le calcul en conservant les unités.
6. Comparer le résultat aux dimensions minimales ou à la condition de vérification.
7. Adopter une dimension constructive cohérente.
8. Conclure par une phrase claire : vérifié / non vérifié / dimension retenue.
9. Lorsque le ferraillage est demandé, terminer par un dessin lisible et coté.

Références pédagogiques

BEN AICHA, Mouhcine — Projet de structure — Béton armé, support de cours S4, École Nationale d'Architecture de Rabat, version 2025-2026.

BEN AICHA, Mouhcine — Descente de charges, support pédagogique.

Examens, contrôles continus et corrections de Structure / Projet de structure fournis dans le cadre de l'enseignement.

Références réglementaires mentionnées dans le support : BAEL 99, RPS 2011 et Eurocodes.

PHRASE À RETENIR
Une bonne conception structurale commence avant le calcul : elle naît d'une lecture juste du cheminement des charges et d'un dialogue cohérent entre architecture, matériau et structure.