

## CHAPITRE I : CALCUL DES PLANCHERS

**I.1. Définition :** les planchers sont des aires planes limitent les étages (étage courant) et sert de couverture de protection contre les intempéries (terrasses). Deux fonctions principales leurs sont dévolues :

- *Fonction de résistance* : les planchers supportent leur poids propre et les surcharges d'exploitation ; transmettent les forces horizontales du vent et du séisme au système de contreventement, donc il doit être infiniment rigide.
- *Fonction d'isolation* : ils isolent thermiquement et acoustiquement les différents étages.

On peut distinguer deux grandes classes de planchers :

- Les planchers coulés sur place ou plancher dit traditionnel ;
- Les planchers préfabriqués : la préfabrication peut être totale ou partielle.

Dans les planchers coulés sur place, on distingue :

*Planchers dalles pleines (minces)* : l'épaisseur varie de 8 cm à 15 cm, il est composé de panneaux identiques ou différents reposant sur des poutres transversales et longitudinales, les poutres reposent sur des murs ou poteaux.

*Planchers nervurés* : composés d'une dalle mince ou hourdis reposant sur des courbes de nervures rapprochées soit parallèles ou orthogonales ou biaises. Ces dernières transmettent leurs charges concentrées sur les poutres dites principales, les poutres sont supportées par des murs ou poteaux.

*Planchers à poutrelles enrobées* : dont lesquelles l'armature est constitué par des profilés laminés IPN ou IPE ou autres.

*Planchers champignons* : dans ce cas la dalle en BA plus ou moins épaisse selon les portées et les surcharges reportent directement ces charges sur les poteaux sans l'intermédiaire des poutres. Le calcul rigoureux de ces types de planchers est très complexe aussi, en pratique, on utilise des méthodes simplifiées, telles que celles exposées à l'annexe E4 des règles BAEL.

*Planchers à corps creux* : composés d'une dalle très mince (4 à 6) cm, reposant sur des nervures parallèles avec remplissage intermédiaire en corps creux préfabriqué en mortier de ciment ou en céramique. L'ensemble monolithe de dalle poutrelles travail comme une section en T, le vide qui reste entre poutrelles est rempli par des éléments légers appelés corps creux jouant le rôle de coffrage. Les corps creux s'appuient sur les poutrelles à adhérence par des ailes à la partie (supérieure et inférieure) ou simplement par des faces penchées. Les poutrelles transmettent leurs charges uniformes sur les poutres, ces dernières les transmettent aux murs ou poteaux. Les distances normalisées entre axe des nervures pour les corps creux en céramique sont 30 et 50 cm, pour ceux en mortier sont : 30, 50 ou 70 cm. En Algérie les entre axe sont 56 et 65 cm. Leur hauteur est de 11, 15 ou 16, 20 ou 25 cm ; et longueur de 20, 25 ou 30 cm.

## I.2. Loi de dégression des surcharges d'exploitation:

Chaque plancher d'un immeuble est calculé pour la charge d'exploitation maximale qu'il est appelé à supporter. Toutefois, comme il est peu probable que tous les planchers d'une même construction soient soumis, en même temps, à leur charge d'exploitation maximale, on réduit les charges transmises aux piliers et aux fondations. La loi de dégression est fixée par les normes. Cette loi est généralement applicable pour les bâtiments d'habitation.

- Si les surcharges des différents niveaux sont différents : on adoptera pour le calcul de l'effort normal du poteau considéré les valeurs cumulées suivantes :

$Q_o$  : charge d'exploitation sur le toit de la terrasse ;

$Q_i$  : charge d'exploitation pour les différents étages numéroté à partir du sommet.

Terrasse :  $Q_o$

Etage 1 :  $Q_o + Q_1$

Etage 2 :  $Q_o + 0.95(Q_1 + Q_2)$

Etage 3 :  $Q_o + 0.9(Q_1 + Q_2 + Q_3)$

Etage 4 :  $Q_o + 0.85(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)$

Etage n :  $Q_o + \frac{3+n}{2n} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n)$

- Si les surcharges des différents niveaux sont les mêmes: on adoptera pour le calcul de l'effort normal du poteau considéré les valeurs non cumulées suivantes :

$Q_o$  : charge d'exploitation sur le toit de la terrasse ;

$Q$  : charge d'exploitation identique pour les différents étages numéroté à partir du sommet.

Terrasse :  $Q_o$

Etage 1 :  $Q$

Etage 2 :  $0.9 Q$

Etage 3 :  $0.8 Q$

Etage 4 :  $0.7 Q$

Etage 5 :  $0.6 Q$

Etage 6 :  $0.5 Q$

Etages suivants :  $0.5 Q$

### I.3. Planchers à corps creux :

Cette solution, très communément employée dans les bâtiments d'habitation, le principe de calcul est comme suit :

- *Hourdis (dalle de compression)* : dans le cas d'un hourdis sur entrevous en terre cuite ou en béton, le hourdis doit avoir une épaisseur minimale de 4 cm et être armé d'un quadrillage de barres dont les dimensions des mailles ne doivent pas dépasser :

**20 cm** pour les armatures perpendiculaires aux nervures ;

**33 cm** pour les armatures parallèles aux nervures.

Si  $A$  est la section des armatures perpendiculaires aux nervures ( $A$  en  $\text{cm}^2/\text{m}$  de nervure), on doit avoir :

Lorsque :  $l \leq 50 \text{ cm}$  :  $A \geq \frac{200}{f_e}$

Lorsque :  $l$  est compris entre 50 et 80 cm :  $A \geq \frac{4l}{f_e}$  ( $l$  : entre axe des nervures en cm et  $f_e$  en MPa)

Les armatures parallèles aux nervures, autres que les armatures supérieures des poutrelles, doivent avoir une section, par mètre linéaire, au moins égale à  $A/2$ .

- *Poutrelles coulées sur place* : se calcul soit par la méthode forfaitaire soit par la méthode de caquot, selon le cas. La surface tributaire revenant à chaque poutrelle est

égale à  $(l \cdot 1)$ , leur ferrailage se fait à la flexion simple toute en considérant une section en T (en travée) et une section rectangulaire de largeur  $b_0$  (sur appui).

- *Poutres* : les réactions des poutrelles sur les poutres qui sont perpendiculaires à eux sont en principe des charges concentrées, mais vu que les poutrelles sont très rapprochées, on considère leurs réactions comme étant uniforme. Pour la transmission sur les poutres on admet :
  - Pour les poutres perpendiculaires aux poutrelles, on multiplie la charge uniforme par la surface tributaire.
  - Pour les poutres parallèles aux poutrelles, on multiplie la charge par, l'entre axe  $l$  pour les poutres intermédiaires, et  $l/2$  pour les poutres de rive.

**1-4. Planchers dalles pleines:** les dalles sont des pièces minces et planes de dimensions  $l_x$  et  $l_y$  ( $l_x \leq l_y$ ), elles reposent avec ou sans continuité, sur 2, 3 ou 4 appuis constitués par des poutres, poutrelles ou murs, constituant ainsi des planchers ou des couvertures.

En général, on considère dans l'étude des dalles une tranche de 1m de largeur ( $b=100\text{cm}$ ). L'épaisseur des dalles dépend plus souvent des conditions d'utilisation que des vérifications de résistance.

Pour le calcul des dalles nous distinguerons deux cas :

#### 1/ Dalle porte dans un seul sens :

Lorsque les deux conditions suivantes sont simultanément remplies :

- $\rho = \frac{l_x}{l_y} \leq 0,4$
- La dalle est uniformément chargée.

On dit que la dalle porte dans un seul sens, et on évalue les moments en tenant compte de la flexion que suivant la plus petite dimension, on est donc ramené à l'étude d'une poutre de section rectangulaire de largeur 1m ( $b=100\text{cm}$ ), de hauteur  $h_t$  et de portée  $l_x$ .

Pour déterminer les moments à prendre en compte, on pourra, suivant l'importance des charges d'exploitation, utiliser les méthodes données dans les poutrelles et poutres (voir ci après).

Très souvent lorsqu'une dalle continue peut être considérée comme partiellement encastree sur ses appuis de rive et, en particulier lorsqu'il s'agit d'un plancher à charge d'exploitation modérée ( $Q \leq \max(2G ; 5000\text{N/m}^2)$ ). On prend dans chacune des travées les moments suivants :

$$M_t = \frac{ql_x^2}{10} = 0,8M_o$$

$$M_a = -\frac{ql_x^2}{16} = -0,5M_o$$

En général l'effort tranchant est calculé comme si la dalle repose sur deux appuis simple, c.à.d. sans tenir compte de la continuité :  $T = q \frac{l_x}{2}$

#### 2/ Dalle porte suivant deux sens :

Une dalle est dit porte suivant deux directions si :

- $0,4 < \frac{l_x}{l_y} \leq 1$  et la dalle est uniformément chargée.

Ou si la dalle est soumise à des charges concentrées, quelque soit le rapport ( $\frac{l_x}{l_y}$ )

**Nous commencerons par déterminer les moments  $M_x$  et  $M_y$  en supposant que la dalle repose librement sur son pourtour :**

Pour une dalle reposant librement sur son contour et soumise à une charge uniformément répartie (q) couvrant tout le panneau, les moments au centre de la dalle, pour une tranche de largeur unité sont donnés par les formules suivantes (selon Annexe E 3 des règles BAEL) :

- Sens de la petite portée :  $M_x = \mu_x q l_x^2$
- Sens de la grande portée :  $M_y = \mu_y M_x$

Les valeurs des coefficients  $\mu_x$  et  $\mu_y$  sont données fonction du rapport :  $\rho = \frac{l_x}{l_y}$  et du coefficient de poisson  $\nu$  :

- $\nu=0$  (ELU)
- $\nu=0,2$  (ELS)

**Hourdis continus et semi-encastrés** : lorsque la dalle fait partie d'un hourdis continu, ou lorsqu'elle est liée à des appuis permettant de compter sur un encastrement partiel, on réduit les valeurs obtenues pour les moments en travée et on calcule des moments sur appuis.

On adopte souvent les valeurs suivantes pour les planchers et les constructions similaires :

- Si le panneau considéré est continu au-delà de ses appuis :
  - Moments en travée :  $0,75 M_x$  ou  $0,75 M_y$ .
  - Moments d'encastrement sur les grands et petits cotés :  $0,5 M_x$ .
- Si le panneau est un panneau de rive dont l'appui peut assurer un encastrement partiel :
  - Moments en travée :  $0,85 M_x$  ou  $0,85 M_y$ .
  - Moments d'encastrement sur les grands et petits cotés :  $0,3 M_x$  (appui de rive) ;  $0,5 M_x$  (autres appuis).

**Remarque** : pour une dalle supportant une charge uniformément répartie ne couvre pas tout le panneau, ou pour des charges concentrées, on pourra utiliser les abaques de Pigeaud.

Les efforts tranchants par unité de longueur peuvent être calculés par les formules suivantes :

| Charge totale (P) uniformément répartie sur la surface de la plaque | Charge totale (P) uniformément répartie sur un rectangle ( $u \cdot v$ ), concentrique à la plaque |                        |                        |
|---|--|------------------------|------------------------|
| Au milieu de $l_y$<br>$T = \frac{P}{2l_y + l_x}$                    | Au milieu de (u)   | $u > v$                | $u < v$                |
|   |  | $T = \frac{P}{2u + v}$ | $T = \frac{P}{3v}$     |
| Au milieu de $l_x$<br>$T = \frac{P}{3l_y}$                          | Au milieu de (v)   | $T = \frac{P}{3u}$     | $T = \frac{P}{2v + u}$ |

**Remarque** : dans ses formules, si la charge uniformément répartie a pour valeur (q) par unité de surface ( $N/m^2$ ) on aura :

- Pour une charge qui couvre toute la surface de la dalle :  $P = q \cdot l_x \cdot l_y$
- Pour une charge qui couvre un rectangle ( $u \cdot v$ ) concentrique à la dalle  $P = q \cdot u \cdot v$ .

**Transmission des charges** : En ce qui concerne la transmission des charges sur les poutres encadrant une dalle portant sur 4 cotés, on admet généralement celle représentée sur la figure suivante : les poutres telles que AD, portent la charge provenant du triangle AED, et les poutres telles que CD portent la charge provenant du trapèze CDEF.

### ❖ *Abaques de Pigeaud :*

Pigeaud a publié dans les *Annales des ponts et chaussées* (janvier-février 1921), des abaques permettant de déterminer les moments maximaux suivant la petite portée (a) et la grande portée (b) pour les plaques rectangulaires, simplement appuyées sur leur contour, soumises aux charges uniformément réparties sur toute la surface de la plaque et sur un rectangle concentrique à la plaque.

$M_1$  : moment fléchissant rapporté à l'unité de longueur de la plaque, dans le sens de la petite portée (a).

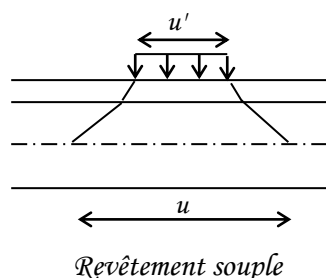
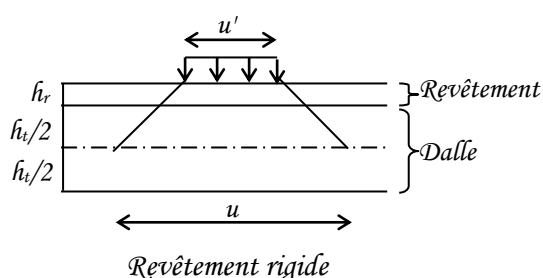
$M_2$  : moment fléchissant rapporté à l'unité de longueur de la plaque, dans le sens de la grande portée (b).

Si P est la valeur de la charge totale, supposée uniformément répartie et recouvrant complètement ou incomplètement la plaque, les moments fléchissant développés au centre de la plaque ont pour expression :

Sens de la petite portée :  $M_a = (M_1 + \nu M_2)P$

Sens de la grande portée :  $M_b = (\nu M_1 + M_2)P$

- Cas d'une charge totale  $P=1$  uniformément répartie sur toute la surface de la plaque : le premier abaque fait connaître directement  $M_1$  pour la valeur de  $\rho = \frac{a}{b}$ , pour obtenir  $M_2$  il suffit d'employer l'argument  $\rho' = \frac{b}{a} = \frac{1}{\rho}$
- Cas d'une charge totale  $P=1$  uniformément répartie sur un rectangle concentrique à la plaque : Dans le cas de charges localisées, les efforts seront déterminés en tenant compte de la répartition des charges sur le plan moyen de la dalle. On désigne par  $u$  la dimension du rectangle chargé // à  $a$ , et par  $\nu$  la dimension // à  $b$ .



$u = u' + h_t + k \cdot h_r$  et  $\nu = \nu' + h_t + k \cdot h_r$  ;  $h_t$  : épaisseur totale de la dalle,  $h_r$  : l'épaisseur du revêtement.  
 $k = 2$  (si : le revêtement est rigide) ;  $k = 1,5$  (si : le revêtement est souple).

La valeur de  $\rho = \frac{a}{b}$  permet de choisir les deux abaques auxquels il faut se reporter. Il suffit ensuite de déterminer sur les abaques correspondant à  $M_1$  ou  $M_2$  respectivement les cotes des courbes passant par le point d'abscisse  $\frac{u}{a}$  et d'ordonnée  $\frac{\nu}{b}$ . La valeur numérique de  $M_1$  et  $M_2$  est égale à la cote trouvée multipliée par  $10^{-2}$ .

- Cas d'une charge totale  $P=1$  uniformément répartie sur un rectangle non concentrique à la plaque : on peut encore se servir dans ce cas des mêmes abaques, en suivant les indications données par Résal pour ramener ce cas de charge à celui de rectangles chargés concentriques à la plaque.

### ❖ *Poinçonnement :*

On considère une charge concentrée appliquée sur la dalle suivant un rectangle ( $u' \cdot \nu'$ ) ( $u' // l_x$  et  $u'$  et  $\nu'$  pouvant être nuls) ; agit dans le plan de feuillet moyen de la dalle suivant un rectangle ( $u \cdot \nu$ ).

Lorsqu'une charge concentrée importante peut être appliquée sur un hourdis, il est nécessaire de vérifier la résistance au poinçonnement de ce hourdis.

On admet qu'aucune armature particulière n'est nécessaire si, la charge concentrée étant éloignée des bords de la dalle, la condition suivante est satisfaite :

$$Q_u \leq 0,045 u_c h_t f_{cj}$$

Avec :  $Q_u$ : charge de calcul pour l'ELU ;

$u_c$  : périmètre du contour de l'aire ( $S=u.v$ ) sur laquelle agit la charge dans le plan du feuillet moyen.

$f_{cj}$  : résistance caractéristique du béton à la compression à  $j$  jours, soit à 28jours.

Si la condition précédente n'est pas vérifiée, ce qui est à éviter, il faudrait alors considérer un périmètre  $u_c'/u_c$  et tel que l'on ait :  $Q_u \leq 0,045 u_c' h_t f_{cj}$ , et disposer des armatures transversales dans toute la zone intérieure à ce périmètre.

Pour les charges concentrées situées à proximité des bords de la dalle on se reportera à l'article A.5.2,43 des règles BAEL.

- **Espacement des barres :** l'écartement des armatures d'une même nappe ne doit pas dépasser dans la région centrale la plus faible des deux valeurs indiquées dans le tableau suivant (pour une fissuration peu préjudiciable) :

| Directions                             | Charges réparties | Charges concentrées |
|--|-------------------|---------------------|
| Direction la plus sollicitée (Ax//lx)  | Min (3ht et 33cm) | Min (2ht et 22cm)   |
| Direction la moins sollicitée (Ay//ly) | Min (4ht et 45cm) | Min (3ht et 33cm)   |

**Remarque :** lorsque la fissuration est préjudiciable ou très préjudiciable les écartements maximaux admissibles sont réduits :

**Fissuration préjudiciable :** Min (2ht et 25cm), (avec :  $\emptyset \geq 8\text{mm}$ , sens lx).

**Fissuration très préjudiciable :** Min (1.5ht et 20cm), (avec :  $\emptyset \geq 8\text{mm}$ , sens lx).

- **Valeurs minimales des armatures :**

\* Pour les dalles dont  $ht < 12\text{cm}$  :

- Si :  $\rho \leq 0.4$  :

$$A_x \geq 0.23 \cdot b \cdot d_x \cdot f_{tj} / f_e$$

Et  $A_y \geq \frac{A_x}{4}$  pour charge uniforme

$A_y \geq \frac{A_x}{3}$  pour charge concentrée.

- Si :  $0.4 < \rho \leq 1$  :

$$A_x \geq 0.23 \cdot b \cdot d_x \cdot f_{tj} / f_e$$

$$A_y \geq 0.23 \cdot b \cdot d_y \cdot f_{tj} / f_e$$

Et  $A_y \geq \frac{A_x}{4}$  (ou  $A_y \geq \frac{A_x}{3}$ ) doit toujours être respectée.

\* Pour les dalles dont  $12\text{cm} \leq ht \leq 30\text{cm}$  :

- Si :  $\rho \leq 0.4$  :

$A_x \geq \rho_o \cdot b \cdot h_t$  avec :  $\rho_o$  est un coefficient ayant pour valeur (pourcentage d'acier/béton) :

0.0012 pour les RL FeE215 ou FeE235 ;

0.0008 pour les HA FeE400 ou treillis soudés en fils lisses de diamètre  $> 6\text{mm}$  ;

0.0006 pour les HA FeE500 ou treillis soudés en fils lisses de diamètre  $\leq 6\text{mm}$  ;

Et pour Ay :  $A_y \geq \frac{A_x}{4}$  (ou  $A_y \geq \frac{A_x}{3}$ )

- Si :  $0.4 < \rho \leq 1$  :

$$A_x \geq \rho_o \cdot \frac{(3 - \frac{l_x}{l_y})}{2} \cdot b \cdot h_t$$

$$A_y = \rho_o \cdot b \cdot h_t$$

Avec toujours :  $A_y \geq \frac{A_x}{4}$  (ou  $A_y \geq \frac{A_x}{3}$ )

- **Armatures transversales :**

Aucune armature transversale n'est nécessaire si la dalle est bétonnée sans reprise sur toute son épaisseur et si  $\tau_u < 0.05 f_{cj}$  ( $\tau_u = \frac{T}{bd}$ )

➤ **Arrêt des armatures en travée :**

Les armatures armant à la flexion la région centrale d'une dalle sont prolongés jusqu'aux appuis :

- Dans leur totalité, si la dalle est soumise à des charges concentrées mobiles d'une valeur :  $Q > \frac{q \cdot l_x \cdot l_y}{4}$  ( $q$  étant la charge d'exploitation uniforme).
- A raison d'au moins un sur deux, si la dalle n'est soumise qu'à des charges uniformes, ou à des charges concentrées mobiles  $Q < \frac{q \cdot l_x \cdot l_y}{4}$ . dans chaque direction, une armature sur deux est arrêtée à une distance de l'appui au plus égale à  $l_x/10$

➤ **Arrêt des armatures sur appuis (chapeaux) :**

Pour les chapeaux disposés perpendiculairement à  $l_x$  ou  $l_y$ , on peut prendre dans les cas courants, une longueur  $l_l$ , comptée à partir du nu de l'appui au moins égale à la plus grande des valeurs suivantes :

- $l_a$ , longueur d'ancrage, c.à.d. la longueur de scellement droit  $l_s$ , si la barre est rectiligne ou une longueur équivalente ( $0.6 l_s$  : pour les R.L (FeE215, FeE235) ; ou  $0.4 l_s$  : pour les H.A (FeE400, FeE500) si la barre est menue du crochet.
- $0.2 l$ , s'il s'agit d'un appui n'appartenant pas à une travée de rive ( $l$  : la plus grande des portées  $l_x$  des deux travées encadrant l'appui considéré).
- $0.25 l$ , s'il s'agit d'un appui d'une travée de rive.

**Remarque :** pour une barre isolée de diamètre  $\emptyset$ , la longueur de scellement droit  $l_s$  a pour valeur en traction comme en compression :

$$l_s = \frac{\emptyset f_e}{4 \tau_s}; \quad \tau_s : \text{la contrainte d'adhérence.}$$

$$\tau_s = 0.6 \psi_s^2 f_{t28}$$

$\psi_s$  : coefficient de scellement.  
 $\psi_s = 1$  pour les RL  
 $\psi_s = 1.5$  pour les HA