

Chapitre I : *Calcul des planchers dalles et planchers champignons*

1- Introduction et description:

Le plancher est une aire plane horizontale séparant deux niveaux d'une construction et est capable de supporter des charges (plancher sur vide sanitaire, planchers intermédiaires, plancher de toiture terrasse)(Figure 1)

Les planchers sont des éléments porteurs. Les dallages sur terre-plein peuvent être assimilés à des planchers.

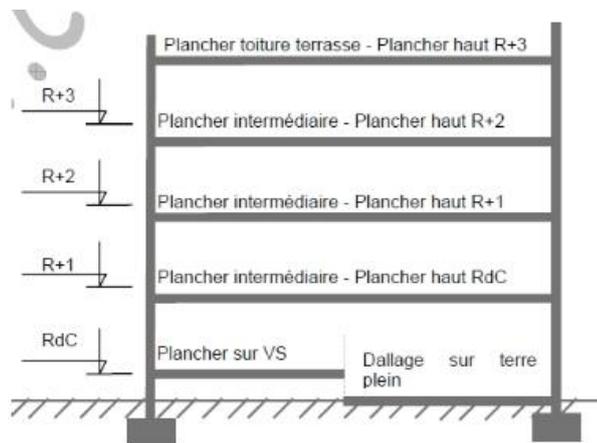


Figure 1 : Différents niveaux

Il peut être exécuté en bois, en acier ou en béton armé. Le plancher est réalisé par une dalle horizontale de 160 à 300 mm d'épaisseur et un réseau porteur horizontal constitué de poutre, Poutrelles et chevêtres (Figure 2)

Les voiles et les poteaux constituent les porteurs verticaux du plancher.

Généralement, le plancher est constitué de 3 parties distinctes qui sont : le revêtement, la partie portante et le plafond.

- **partie portante** : est constituée par des poutres en B.A. ou en béton précontraint, des Poutrelles métalliques, des solives en bois, des dalles en béton armé pleines ou nervurées. La partie portante doit résister aux charges transmises par le poids propre (de l'élément porteur lui-même, du revêtement et du plafond); les surcharges d'exploitation qui sont fonction de l'utilisation qu'on va faire du bâtiment ; le poids des diverses cloisons de séparation (dans le cas de bâtiment à usage d'habitation, on assimilera leur effet à celui d'une charge supplémentaire d'environ 75kg /m²)

- **Le revêtement** : repose sur la partie portante : ce peut être du carrelage, parquet en bois, dallages divers, revêtements synthétiques. Il doit être adapté au type de la construction, il doit garantir essentiellement une isolation Acoustique et thermique satisfaisante, tout en présentant un aspect esthétique.

- **Le plafond** : est réalisé sous l'élément porteur, c'est un enduit de plâtre, ce peut être des Plâtres préfabriqués en matériaux de tous genres.

Il contribue à l'amélioration de l'isolation qui peut être obtenue tout en obéissant à l'esthétique.

2. FONCTIONS DES PLANCHERS

Les planchers doivent répondre aux critères suivants :

- **Résistance et stabilité (porteuse)**
- supporter les charges d'utilisation

- ne pas fléchir (limiter la flèche au moment du coffrage puis en cours d'utilisation)
- durabilité
- **Etanchéité et protection**
- à l'air
- au feu
- aux effractions
- **Isolation thermique et acoustique**
- isolant thermiquement (par exemple au-dessus d'un garage)
- isolant acoustiquement (bruits d'impacts, ...)
- **Fonction architecturale**
- aspect décoratif en sous face
- **Fonctions techniques**
- facilité de mise en œuvre
- liaisons avec les porteurs verticaux
- passage de gaines (eau, chauffage, électricité, ...)

3- Types de planchers :

Ils existent plusieurs types : à corps creux, planchers nervurés, planchers dalles(en béton armé), planchers champignons....etc.

3-1- Planchers dalles :

Les planchers en béton armé présentent des avantages qui expliquent leur utilisation de plus en plus répandue, non seulement le béton armé permet des réalisations variées et économique mais de plus, il offre, par son monolithisme, des garanties d'une excellente liaison entre les différents éléments. Figure 02.

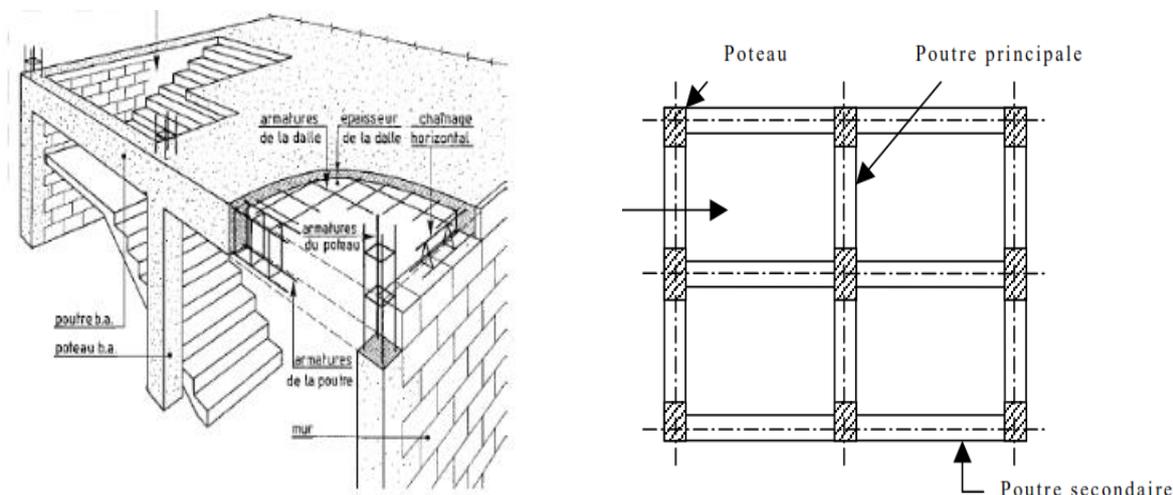


Figure 02 : Planchers en béton armé (dalle)

Les planchers en béton armé peuvent être entièrement coulés sur place (d'où nécessité de coffrage) ; Ils peuvent être semi-préfabriqués (les éléments préfabriqués vont servir de coffrage) ; Ils peuvent être entièrement préfabriqués.

Dans la suite on expose les types de planchers les plus répandus.

3-1 Les dalles pleines en béton armé

C'est une plaque en béton armé qui peut reposer avec ou sans continuité sur 2, 3 ou 4 appuis constitués par des poutres, des poutrelles ou des murs (Figure 03 (a, b, c, d))

L'épaisseur à donner aux dalles résulte des conditions :

- de résistance à la flexion : $1/30$ à $1/35$ de la portée pour une dalle reposant sur 2 appuis ; et $1/40$ à $1/50$ pour une dalle reposant sur 3 ou 4 cotés.
- d'isolation acoustique : ≥ 16 cm
- de rigidité ou limitation de la flèche $\leq 1/500$;
- de sécurité vis à vis de l'incendie : on adopte une épaisseur de 7 cm pour 1 heure de Coupe-feu et de 11 cm pour 2 heures de coupe-feu.

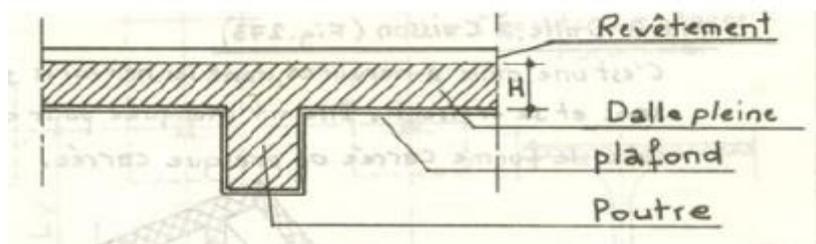


Figure 03, a.



Figure 03 : b, c.



Figure 03 : d. dalle unidirectionnelle

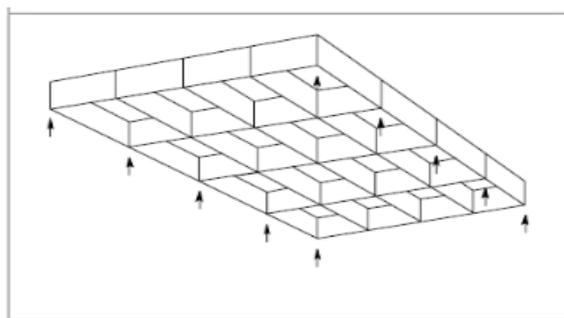


Figure 03 : e, grille de poutres

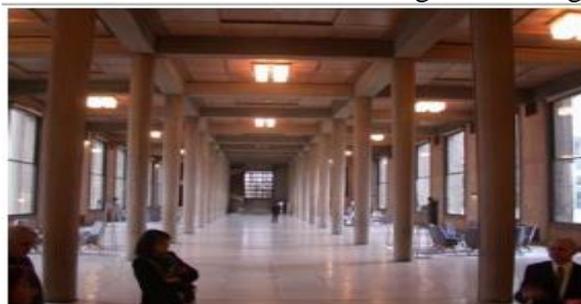


Figure 03 : f, dalle bidirectionnelle.

La dalle est réalisée sur un coffrage jointif recouvrant toute la surface. Le ferrailage est simple et facile à poser, cependant la dalle est un élément plan, les efforts qui la sollicitent doivent être repris suivant les deux directions principales d'où la nécessité de constituer un quadrillage lors du ferrailage des dalles.

Les ouvertures nécessitées par le passage de conduites électriques ou de tuyauteries doivent être prévues et tracées sur le plan de coffrage avant la réalisation.

a- Mise en œuvre du béton :

Le béton est coulé sur un *coffrage* préalablement mis en place, Avant la phase de coulage, on a positionné les armatures.

Le coffrage doit rester en place tant que le béton n'est pas assez résistant pour se tenir seul. Puis, après son démontage et pendant une vingtaine de jours, on laissera des étais sous la dalle afin d'éviter le fluage du béton.

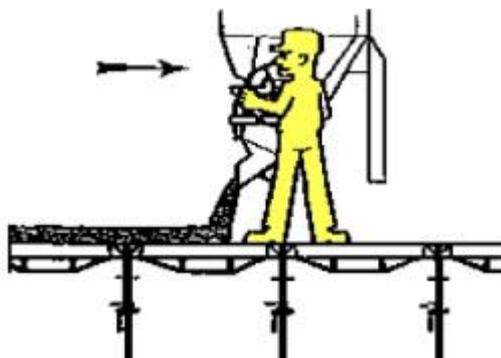


Figure 04 : coulage du béton.

b- Disposition des armatures :

Les planchers sont généralement armés comme ci-dessous en fonction de leur chargement et des liaisons aux appuis.

- * En zone courante: En partie basse, un treillis à calculer.
- * Aux appuis: Des aciers en chapeau.
- * Aux rives: un chaînage tout autour du plancher.

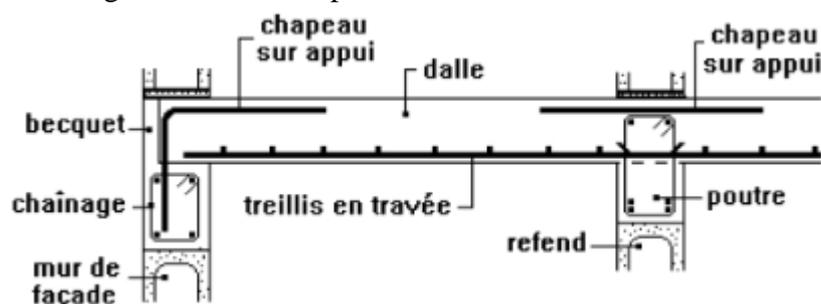


Figure 05 : disposition des armatures dans les dalles.

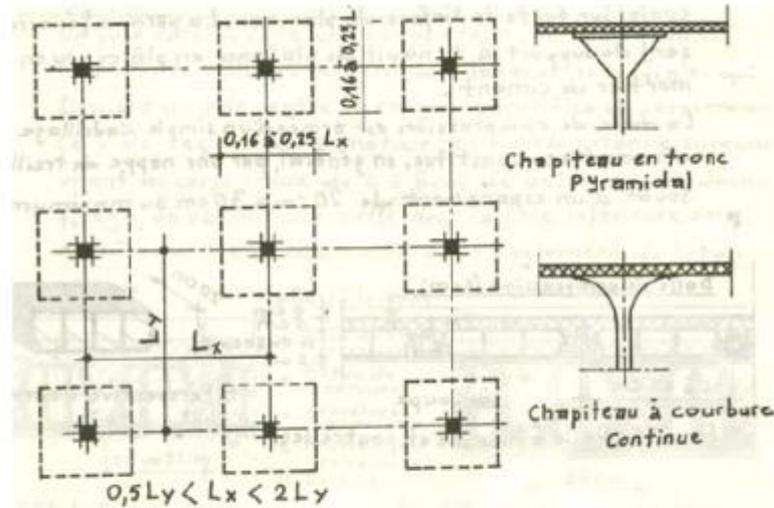
3-2 Les dalles champignons

C'est des dalles pleines reposant sur des points d'appuis isolés constitués par des poteaux et comme les poteaux ont la tête évasée, on les appelle dalle champignon. Ce type de dalle est adopté lorsqu'on a besoin d'un espace libre important sans murs avec simplement les piliers et les planchers et lorsqu'on veut éviter la présence de poutres apparentes (Figure 06).

Les poteaux disposés selon une trame régulière doivent cependant être implantés de manière à ce que la portée dans un sens ne dépasse pas 2 fois la portée dans l'autre sens.

Dans le cas de plancher champignon, l'évasement, c.à.d. l'augmentation progressive de la section du poteau en tête s'appelle chapiteau. Le chapiteau présente une forme homothétique à celle du poteau pour une distribution régulière des forces.

L'écartement des poteaux varie de 8 à 12 m dans chaque sens, et l'épaisseur de la dalle varie de 22 à 35 cm.



Plancher champignon

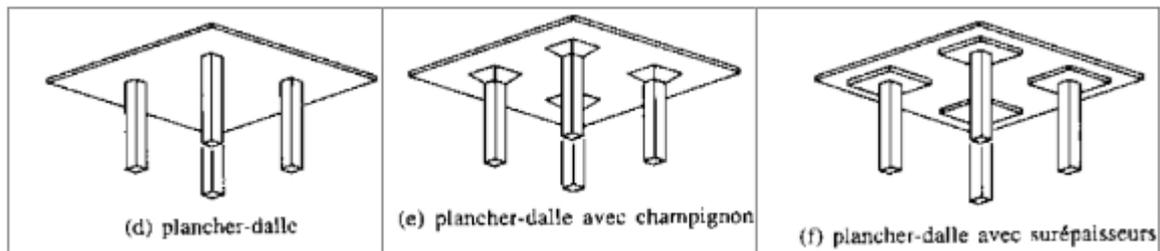
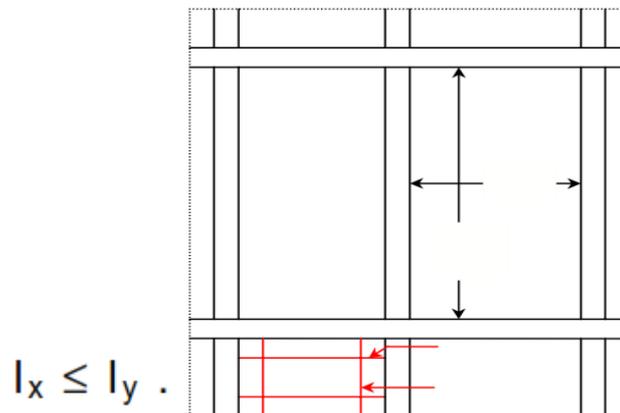


Figure 06 : les dalles champignons.

4- Calcul des dalles :



Les dalle sont calculées panneau par panneau

On désigne par l_x la plus petite dimension de la dalle et l_y la plus grande dimension. On aura donc

$$l_x \leq l_y .$$

Dans l'étude des dalles, on considère une tranche de 1 m de largeur ($b_0 = 1m$) et de portée l (portée de la dalle entre les deux cotés sur lesquels elle est appuyée) donc on a une poutre de section rectangulaire $h \cdot b_0$ (h étant l'épaisseur total de la dalle). Par conséquent les étapes de calcul pour les dalles sont les même que pour les poutres.

4-1- Répartition des moments :

Soit une dalle rectangulaire ABCD appuyée sur ses quatre cotés et de dimensions l_x et l_y .

- La dalle fléchit dans chacune des portées l_x et l_y et la flèche, en tout point, reste évidemment égale dans les deux sens ; les moments fléchissant agiront dans chacune des portées l_x et l_y et seront, pour chacune des portées. Maximaux au milieu. Mais contrairement à ce que l'on pourrait penser à priori (par analogie avec les poutres sur deux appuis) c'est dans le sens l_x de la petite portée que se manifesterà le moment maximal, ; en effet, il est évident que la flexion sur la grande portée est d'avantage « soulagée » par l'appui longitudinal sur les côtés adjacents (relativement rapprochés) que la flexion dans le sens de la petite portée, le « soulagement » du moment fléchissant dans la petite portée devient d'ailleurs presque négligeable si le rapport $l_x / l_y < 0.4$.

Pour le calcul des dalles on distingue 2 cas :

4-1-a- La dalle porte dans un seul sens (direction)

$$\left(h_0 = \left(\frac{1}{35} \div \frac{1}{30} \right) L_x \right)$$

Lorsque les deux conditions suivantes sont simultanément remplies :

- ❖ Le rapport $l_x / l_y < 0.4$
- ❖ La dalle est uniformément chargée

Dans ce cas, les moments sont évalués en ne tenant compte de la flexion que suivant la plus petite dimension (l_x), on dit que la dalle ne porte que dans un seul sens (ou bien que la dalle ne travaille que dans une seule direction.

4-1-b- La dalle porte dans les deux sens (direction)

$$\left(h_0 = \left(\frac{1}{50} \div \frac{1}{40} \right) L_y \right)$$

Une dalle porte sur 2 directions si :

- ❖ Le rapport l_x / l_y est compris entre 0.4 et 1 ($0.4 \leq l_x / l_y \leq 1$) et
- ❖ La dalle est uniformément chargée.

Ou bien :

- ❖ La dalle est soumise à des charges concentrées, quel que soit le rapport l_x / l_y .

Dans ce cas, les moments sont déterminés suivant les deux directions (l_x et l_y), on dit que la dalle porte dans les 2 directions.

On détermine les moments M_x suivant l_x et M_y suivant l_y , on supposant que la dalle repose librement sur son contour.

En pratique, deux méthodes peuvent être utilisées :

- Utilisation des dispositions indiquées à l'annexe E3 des règles BAEL 91.
- Utilisation des Abaques de PIGEAUD ou abaques équivalents.

5-1- Annexe E3 des règles BAEL 91 :

Pour une dalle de dimensions l_x et l_y reposant librement sur son contour et soumise à une charge uniformément répartie couvrant tout le panneau, les moments au centre de la dalle, pour une bande de largeur l'unité, sont :

- ❖ Si $\rho = \frac{l_x}{l_y} < 0.4$: la dalle travaille dans un seul sens (l_x)

$$M_x = \frac{q \cdot l_x^2}{8}$$

- ❖ Si $0.4 \leq \rho = \frac{l_x}{l_y} \leq 1$: la dalle travaille dans les deux sens (l_x, l_y)

Dans le sens de la petite portée l_x : $M_x = u_x \cdot q l_x^2$

Dans le sens de la grande portée l_y : $M_y = M_x u_y$.

u_x et u_y sont des coefficients donnés en fonction du rapport $\rho = \frac{l_x}{l_y}$ et du coefficient de poisson par le tableau exposé dans l'annexe E3 des règles BAEL 91, Pour les dalles rectangulaires librement appuyées sur leurs contours. Ce tableau tient compte du fait que le rapport $M_x / M_y \geq 0.25$.

Pour le coefficient de poisson :

$\nu = 0.0$ à l'état limite ultime (calcul des sollicitations).

$\nu = 0.2$ à l'état limite de service, (calcul des déformations).

5-2- Abaques de PIGEAUD :

Ces abaques permettent de déterminer les moments max suivant l_x et l_y pour les plaques soumises aux charges suivantes :

- ❖ Charge uniformément répartie sur toute la surface de la dalle.
- ❖ Charge uniformément répartie sur un rectangle concentrique à la dalle.

3.2.1. Charge uniformément répartie sur toute la surface de la dalle.

M_1 représente le moment fléchissant unitaire (rapporté à l'unité de longueur de la dalle) pour une charge concentrique $P=1$ dans le sens l_x ; M_2 est la quantité analogue relative au sens l_y . La valeur de $\rho=l_x/l_y$ (ou de $\rho'=l_y/l_x$) permet immédiatement de lire la valeur correspondant à M_1 (ou M_2).

Les moments au centre de la dalle, pour une bande de largeur unité, ont pour valeur:

$$\text{sens } l_x: M_x = (M_1 + \nu M_2) P$$

$$\text{sens } l_y: M_y = (\nu M_1 + M_2) P$$

où: M_1 valeur donnée par le tableau 1 en fonction de $\rho = l_x/l_y$

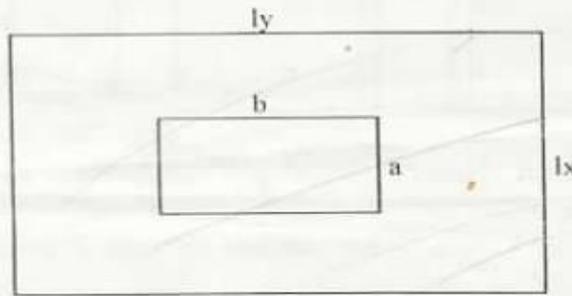
M_2 valeur donnée par le tableau 1 en fonction de $\rho' = l_y/l_x$

P est la charge totale répartie sur la plaque $P = q \cdot l_x \cdot l_y$

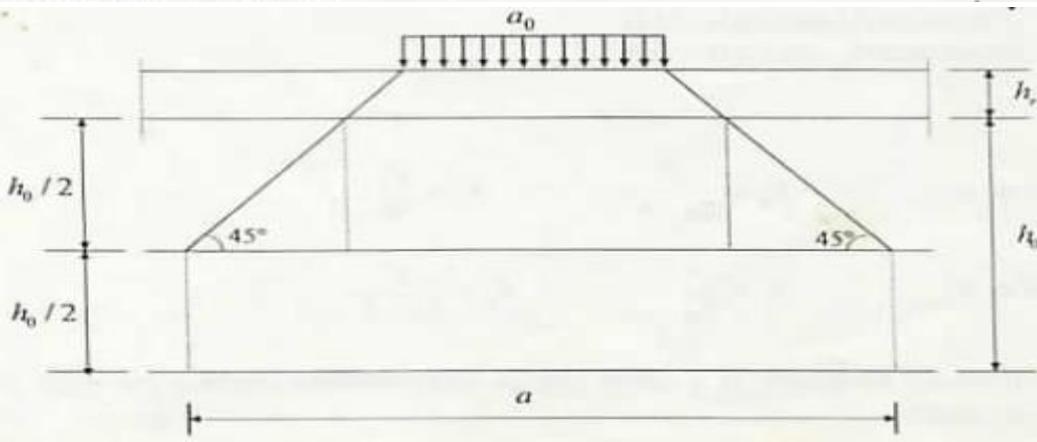
ν : coefficient de poisson $\nu = 0$ ou $\nu = 0,2$ suivant les cas précédents.

On doit également tenir compte du fait que $M_y / M_x \geq 0,25$

3.2.2. Charge uniformément répartie sur un rectangle concentrique à la dalle.



Les abaques relatifs à une charge uniformément répartie sur un rectangle concentrique à la dalle permettent d'étudier le cas des charges concentrées. On admet qu'une charge appliquée à la surface de la dalle suivant un rectangle de dimensions a_0 et b_0 , agit dans le plan du feuillet moyen de la dalle suivant un rectangle de dimensions a et b , et distant de ce dernier de la demi-épaisseur de la dalle.



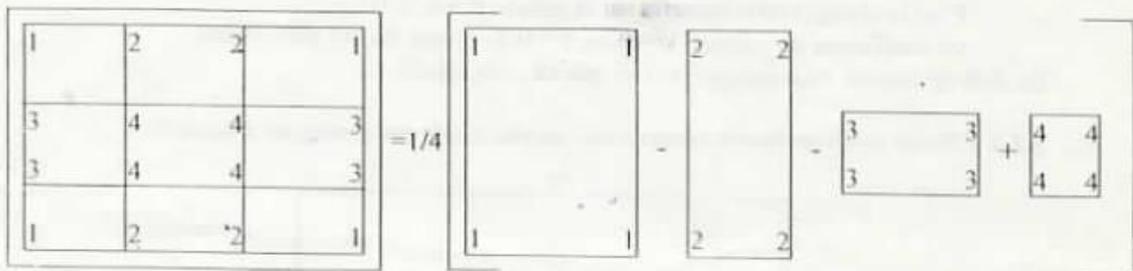
$$h_r = 0 \Rightarrow \begin{cases} a = a_0 + h_0 \\ b = b_0 + h_0 \end{cases} \quad \left(h_r \neq 0 \Rightarrow \begin{cases} a = a_0 + h_0 + \xi h_r \\ b = b_0 + h_0 + \xi h_r \end{cases} \right)$$

avec: $\xi = 2$ pour un revêtement aussi résistant que le béton,
 $\xi = 1,5$ pour un revêtement moins résistant que le béton.

La valeur de $\rho = lx/ly$ permet immédiatement de choisir le tableau pour lire la valeur correspondant à M_1 (ou M_2) en fonction du rapport a/lx et b/ly .

3.2.3. Charge localisée non concentrique à la dalle.

On se sert des mêmes tableaux, en suivant les indications données par Résal, pour ramener ce cas de charge à celui de rectangles chargés concentriques à la plaque, voir figure ci-dessous, donc on se ramène au cas 3.2.2 par addition et/ou soustraction des moments correspondant à des rectangles centrés supportant tous la même charge unitaire q .



$$M_{1234} = \frac{M_1 - M_2 - M_3 + M_4}{4}$$

3.3 Effort tranchant.

Dans les dalles portant sur les 4 côtés, l'effort tranchant par unité de longueur est donné par:

a. Charge totale P uniformément répartie sur la surface de la dalle.

$$\text{Au milieu de } l_y: V_x = \frac{P}{2l_y + l_x} \quad \text{Au milieu de } l_x: V_y = \frac{P}{3l_y}$$

b. Charge totale P uniformément répartie sur un rectangle de dimensions a, b , concentrique à la dalle.

avec: a : dimension du rectangle // à l_x

b : dimension du rectangle // à l_y

$$a \geq b \qquad a \leq b$$

$$\text{Au milieu de } a: \quad V_b = \frac{P}{2a + b} \qquad V_b = \frac{P}{3b}$$

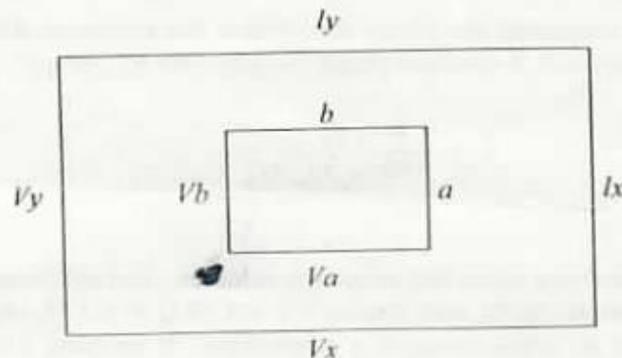
$$\text{Au milieu de } b: \quad V_a = \frac{P}{3a} \qquad V_a = \frac{P}{2b + a}$$

Dans les formules ci-dessus, si q est la charge uniformément répartie par unité de surface (N/m^2), on aura:

Pour la charge couvrant toute la surface de la dalle: $P = q.l_x.l_y$

Pour la charge couvrant un rectangle a, b concentrique à la dalle: $P = q.a.b$

Sur le pourtour de la dalle, l'effort tranchant est égal à la somme de l'effort tranchant dû à la charge répartie sur toute la dalle; et de l'effort tranchant dû à la charge répartie sur le rectangle a, b



3.4 Dalles continues.

3.4.1 Méthode forfaitaire.

Lorsque la dalle est continue, ou lorsqu'elle est liée à des appuis permettant de les considérer partiellement encastres, on réduit les valeurs obtenues pour les moments en travée et on calcule les moments sur appuis.

Panneau considéré continu au delà de ses appuis:

Moments en travée $\geq 0,75 M_x$ ou $0,75 M_y$

Moments d'encastrement sur les grands côtés $\geq 0,50 M_x$

Panneau de rive dont l'appui peut assurer un encastrement partiel:

Moments en travée $\geq 0,85 M_x$ ou $0,85 M_y$

Moments d'encastrement sur les grands côtés: $\geq 0,30 M_x$ (appui de rive)

$\geq 0,50 M_x$ (autre appui)

En général, on doit toujours avoir pour la portée l_x ($l_x \leq l_y$)

$$M_t + \frac{M_w + M_e}{2} \geq 1,25 M_x$$

M_t : moment en travée.

M_w (ou M_e) : valeur absolue pour le moment de gauche (de droite).

M_x : moment max., calculé dans l'hypothèse où la dalle est simplement appuyée

Sur les petits côtés, les moments d'encastrement sont pris sensiblement égaux à ceux adoptés pour les grands côtés.

3.5. Vérification au poinçonnement.

Si une dalle de faible épaisseur est soumise à une charge importante concentrée sur une petite surface, la charge risque de traverser la dalle, ce phénomène est appelé "Poinçonnement".

Le poinçonnement a pour effet d'engendrer une fissuration suivant des plans à 45° à partir des côtés du rectangle d'application de la charge.

Des armatures de poinçonnement ne sont pas nécessaires si:

$$P_w \leq 0,045 u_c h_0 f_{c28} / \gamma_b$$

P_w : charge de calcul à l'E.L.U

u_c : périmètre du rectangle d'impact: $u_c = 2(a + b)$

h_0 : épaisseur totale de la dalle.

Sinon, prévoir des armatures d'effort tranchant jusqu'au contour u parallèle à u_c ($u > u_c$) tel que:

$$P_w \leq 0,045 u h_0 f_{c28} / \gamma_b$$

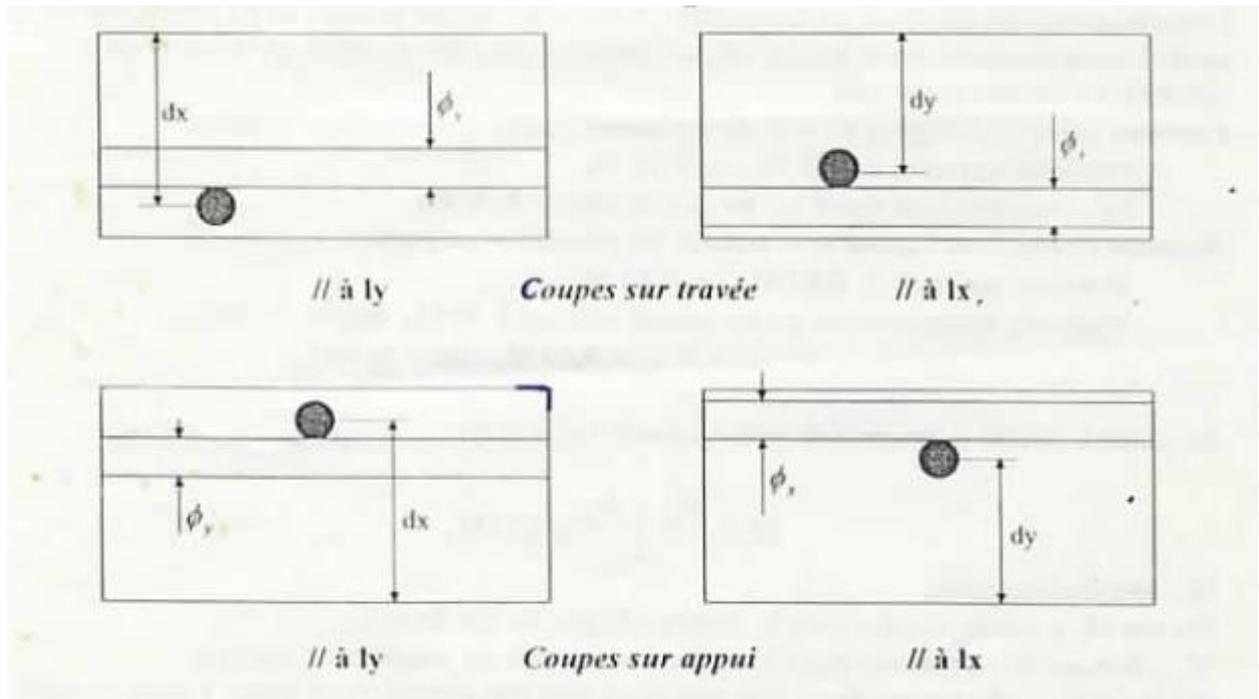
Mais, en général, il est peu commode et coûteux de disposer des armatures d'efforts tranchants dans une dalle de faible épaisseur, il convient plutôt d'augmenter h_0 , tel que:

$$h_0 \geq \frac{P_w}{0,045 u_c f_{c28} / \gamma_b}$$

4. Calcul des armatures.

Les armatures sont déterminées à partir des moments calculés. Les différents panneaux sont calculés isolément en supposant qu'ils sont soumis à $q = 1,35.G + 1,5.Q_B$ appliquée sur toute la surface du panneau. Sur un appui commun à 2 panneaux, le moment à retenir est le plus grand en valeur absolue. Pour chacune des directions il faut considérer, en travée et aux appuis, la hauteur utile qui lui est propre.

$$d_x = d_x - \frac{\phi_x + \phi_y}{2}$$



4-1- Diamètre maximal des armatures :

Les armatures doivent avoir un diamètre satisfaisant la condition : $\emptyset \leq h/10$

4-2- Ferrailage minimaux :

Le taux des armatures dans chaque direction est égal au rapport de la section d'armatures à la section totale du béton (perpendiculaire à cette direction), pour les dalles dont l'épaisseur est comprise entre 0.12 et 0.3m ; le taux doit être au moins égal à :

Pour les armatures // au sens ly

- Taux = 0,12 % pour les aciers A.D. (FeE215, FeE235)
- Taux = 0,08 % pour les aciers H.A. (FeE400), et treillis soudés à fils lisses avec $\phi > 6$ mm.
- Taux = 0,06 % pour les aciers H.A. (FeE500), et treillis soudés à fils lisses avec $\phi \leq 6$ mm.

Pour les armatures // au sens lx

Multiplier les valeurs du sens ly par $[3 \sqrt{(lx/ly)}] / 2$

4.3 Espacement maximal.

L'espacement max., St_{max} , entre 2 barres // voisines d'une même nappe (en travée et sur appui) ne doit pas dépasser les valeurs données par le tableau suivant:

St_{max}	Sens lx	Sens ly
Charges uniformément réparties seulement	Min (3h; 33 cm)	Min (4h; 45 cm)
Présence de charges localisées	Min (2h; 22 cm)	Min (3h; 33 cm)

4.4 Arrêts des barres.

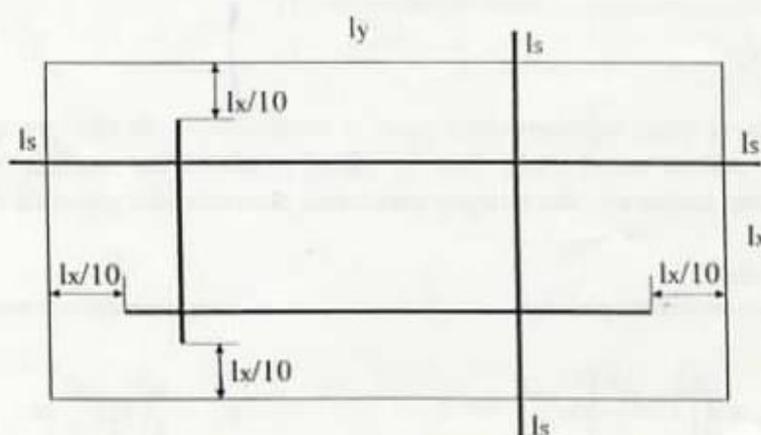
En général les barres sont arrêtées comme pour les armatures longitudinales des poutres par une épure d'arrêt de barres.

On peut aussi utiliser la méthode forfaitaire suivante:

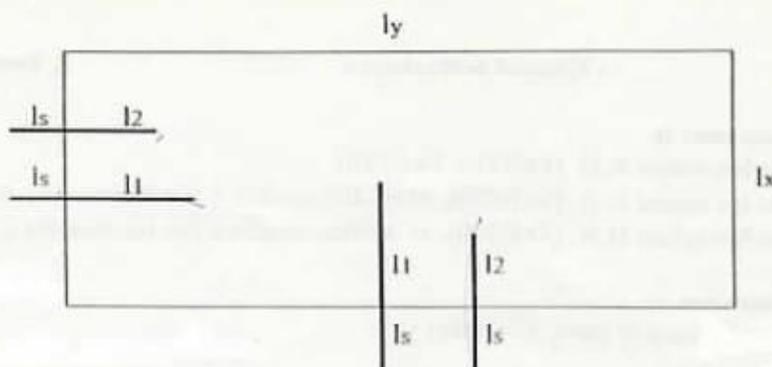
- * Les aciers inférieurs seront prolongés jusqu'aux appuis à raison d'une barre sur deux.
- * Les armatures qui traversent le pourtour des dalles seront ancrées totalement au delà du contour.
- * Les autres barres seront interrompues à une distance $l_x/10$ du contour, ceci dans les sens l_x et l_y .
- * Les aciers de chapeau auront pour longueur, vers l'intérieur des dalles, à partir des contours alternativement l_1 ou l_2

$$l_1 = \text{Max}[\lambda l_x; l_s] \quad \text{et} \quad l_2 = \text{Max}[l_1 / 2; l_s]$$

$$\lambda = (0,05 + 0,3k) \quad \text{avec: } k = M_u / M_0 \quad \text{ou} \quad k = M_e / M_0$$



Nappes inférieures



Nappes supérieures (Chapeaux)

4.5 Armatures d'effort tranchant.

Ces armatures ne sont pas nécessaires si:

la dalle est réalisée sans reprise de bétonnage sur toute son épaisseur; et

$$\tau_u = \frac{V_u}{d \cdot b_0} \leq 0,07 f_{c28} / \gamma_b$$

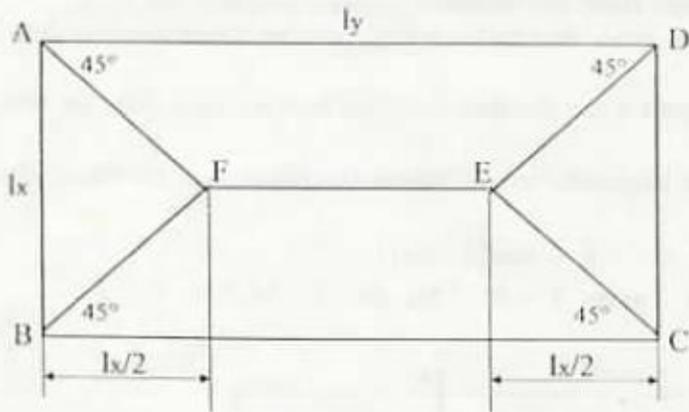
avec: V_u : effort tranchant

d : hauteur utile (d_x ou d_y)

b_0 : largeur de la dalle prise en compte.

Si ces conditions ne sont pas respectés, les armatures d'effort tranchant sont calculées comme pour une poutre ou bien augmenter l'épaisseur de la dalle.

5. Transmission de charges.



- Charge (AFB) reprise par AB
- Charge (BFEC) reprise par BC
- Charge (CED) reprise par CD
- Charge (AFED) reprise par AD

On admet généralement cette représentation pour la transmission de charges sur les poutres encadrant une dalle portant sur 4 côtés. Pour le calcul pratique, les charges triangulaires et trapézoïdales sont remplacées par des charges uniformes équivalentes par unité de longueur.

5.1 Charge trapézoïdale.

Calcul des moments de flexion

Calcul des efforts tranchants

$$q_M = \frac{q}{2} \left[1 - \frac{\rho^2}{3} \right] l_x$$

$$q_V = \frac{q}{2} \left[1 - \frac{\rho}{2} \right] l_x$$

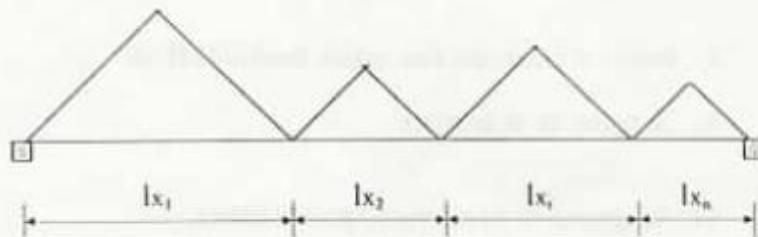
avec: $\rho = l_x / l_y$

5.2 Charge triangulaire.

$$q_M = \frac{q}{3} l_x$$

$$q_V = \frac{q}{4} l_x$$

5.3 Charge triangulaire en « dent de scie ».



5.3.1 travée intermédiaire.

$$q_M = q_V = q \frac{\sum l_n^2}{2 \sum l_n}; \text{ si toutes les travées sont égales } \Rightarrow q_M = q_V = q \frac{l_x}{2}$$

5.3.2 travée de rive.

$$q_M = q_V = q \frac{\sum l_n^2}{4 \sum l_n}; \text{ si toutes les travées sont égales } \Rightarrow q_M = q_V = q \frac{l_x}{4}$$