

Ouvrages En Béton Armé

Les TIC dans l'enseignement



Dr. BEDADI Laid

Université Echahid Hama Lakhder Eloued

Faculté de technologie

Département de Génie Civil

Email : bedadi11@gmail.com

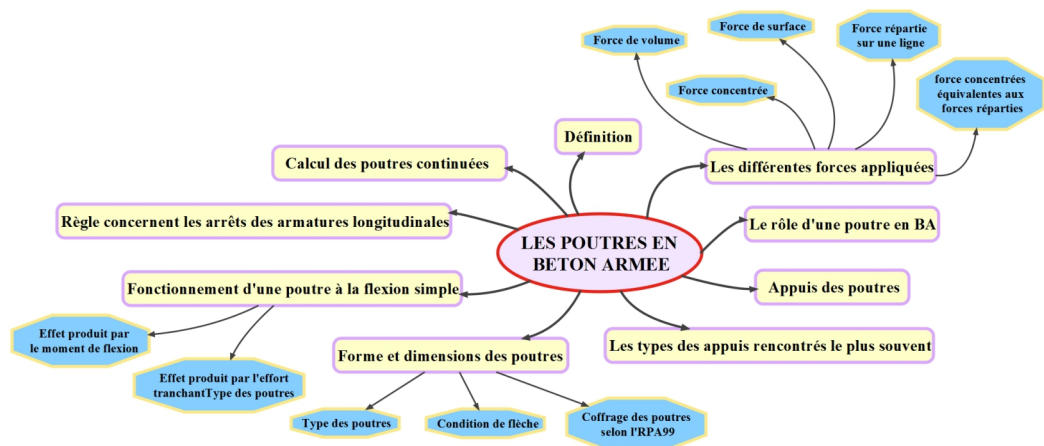
Table des matières



I - CHAPITRE N° 01: POUTRES	3
1. Définition	3
2. Les différentes forces appliquées	3
3. Le rôle d'une poutre en BA	5
4. Appuis des poutres	5
5. Les types des appuis rencontrés le plus souvent	7
6. Forme et dimensions des poutres	9
7. Fonctionnement d'une poutre à la flexion simple	10
8. Règle concernant les arrêts des armatures longitudinales	14
9. Calcul des poutres continuées	14
10. Exercice	15
II - CHAPITRE N° 02: POTEAUX	16
1. Définition	16
2. Rôle des poteaux	16
3. Nature des efforts	16
4. Poteaux en compression simple	17
5. Effort normal ultime compression	17
6. Flambement des pièces comprimées	18
7. Prédimensionnement des poteaux	23
8. Section des armatures	27
9. Longueur de recouvrement	28
10. Evaluation des charges verticales	28
11. Exercice	31

CHAPITRE N° 01: POUTRES

I



Visual Understanding Environnement chapitre 01

Objective de chapitre

Calcul des sollicitations, Calcul des section droites en BA, Calcul des section des armatures, Flexion simple.
Méthode de calcul.

1. Définition

Se sont des éléments porteurs horizontaux, en béton avec armatures. Elles sont destinées à supporter les charges verticales et transmettent les charges aux poteaux sous forme des réactions des appuis.

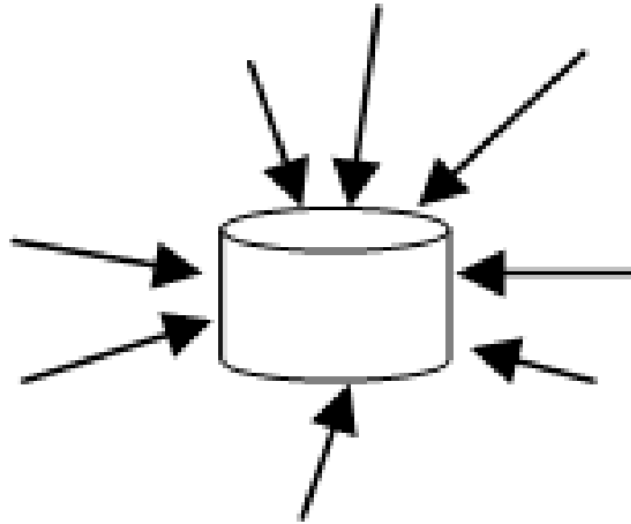
La poutre est soumise à la flexion lorsqu'elle supporte des forces appliquées dans un plan passant par la ligne moyenne, ainsi que des couples d'axe perpendiculaire au plan précédent.

Si les charges appliquées sont orthogonales à la ligne moyenne. La poutre est en flexion simple;

Si elles ont une composante selon la ligne moyenne, la poutre est en flexion composée.

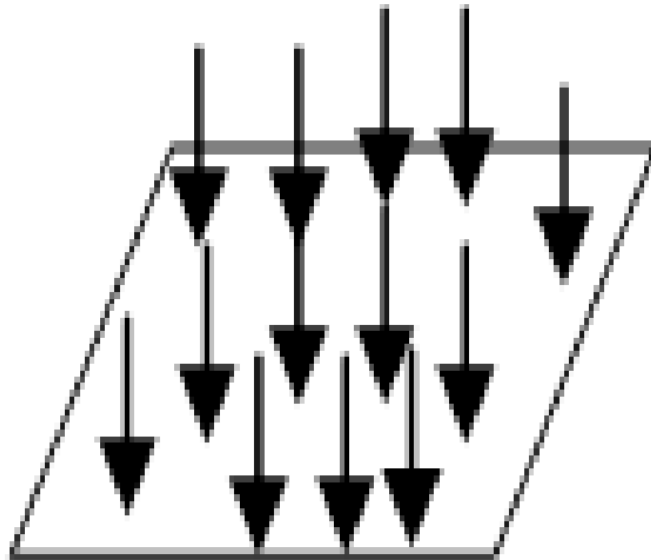
2. Les différentes forces appliquées

- **Force de volume** : ce sont des forces exercées à distance et s'appliquent sur chaque volume élémentaire du corps, l'unité de force de volume est N/m^3



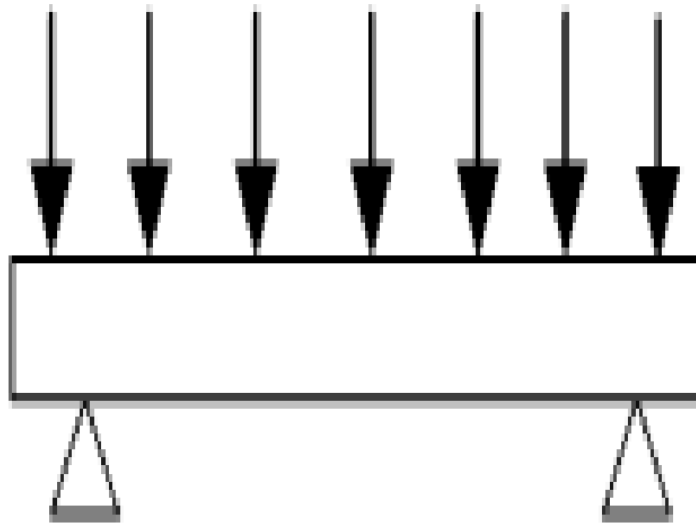
Force volumique

- **Force de surface** : ce sont des forces exercées au contact sur une surface, l'unité de force de surface est l/m^2



Force surfacique

- **Force répartie sur une ligne** : lorsque la surface de contact à une dimension très petite par rapport à l'autre et par rapport aux dimensions du corps étudié, on peut l'assimiler à une ligne (L), l'unité de force linéaire est N/m .



Force répartie sur une ligne

- **Force concentrée** : lorsque la surface des dimensions très petites par rapport à celle du corps étudié, on peut considérer que la force s'exerce ponctuellement; il s'agit d'une force concentrée en un point.
- **Force concentrées équivalentes aux forces réparties** : pour l'étude de l'équilibre statique d'une poutre, on peut remplacer une force répartie par une force concentrée équivalente

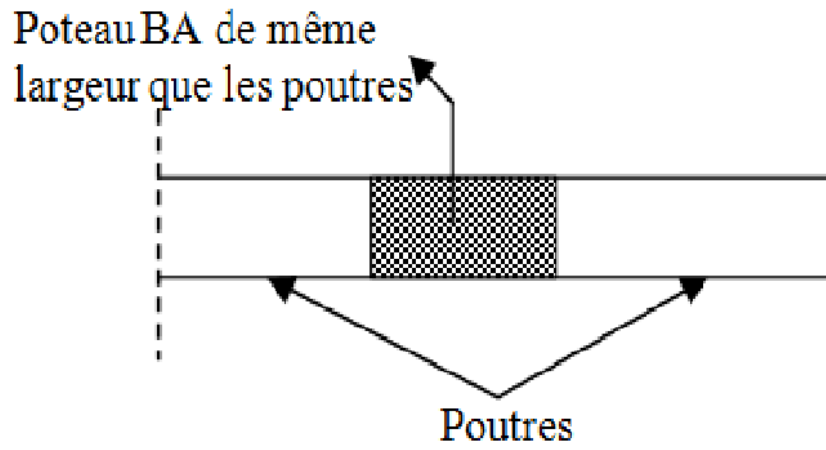
3. Le rôle d'une poutre en BA

Dans une structure, la poutre reçoit une partie des charges permanentes (G) et des surcharges (Q) venant du plancher dont elle constitue une partie. Les poutres absorbent également les efforts horizontaux provoqués soit par le séisme, les chocs et la température. La poutre transmet ensuite l'ensemble des charges aux poteaux sur lesquelles, elle repose.

4. Appuis des poutres

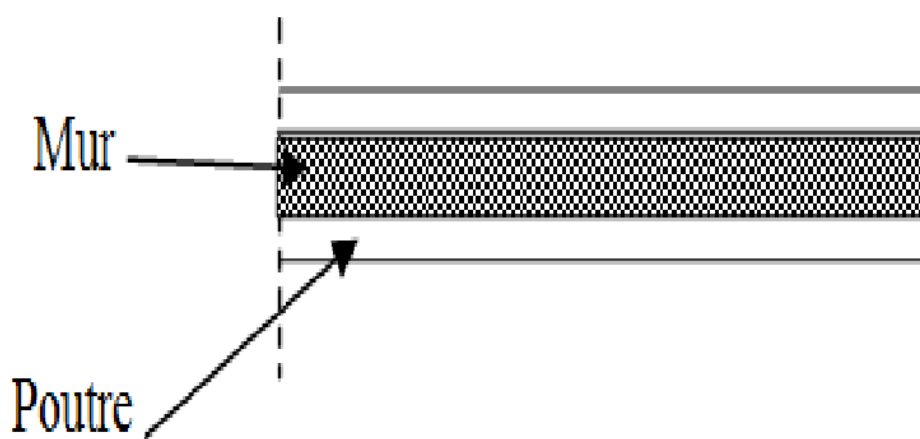
Les poutres appuies

- Sur des poteaux de section carrée, rectangulaire, circulaire...etc.



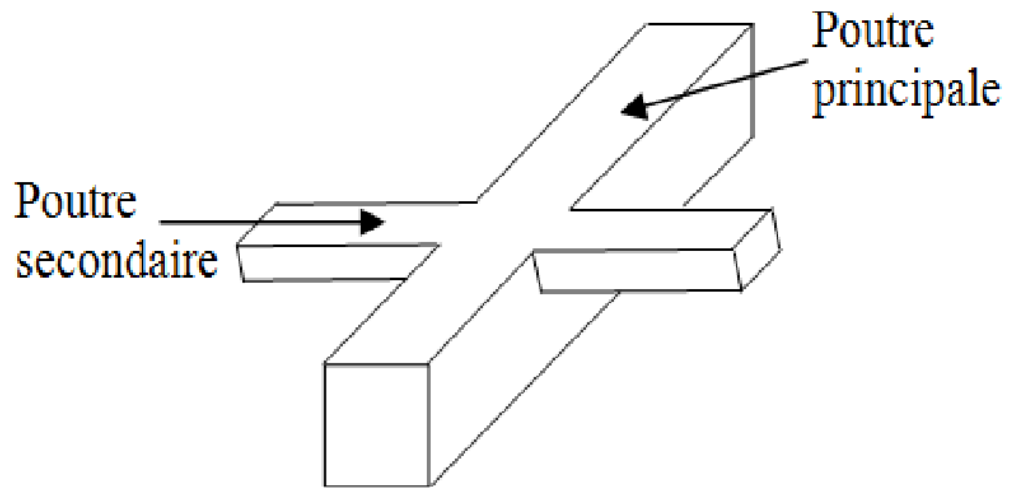
Poutre sur poteau

- Sur mur maçonnés ou voile en BA



Poteau sur mur maçonnés ou voile en BA

- Sur une autre poutre (exemple : poutre secondaire sur poutre principale)



poutre secondaire sur poutre principale

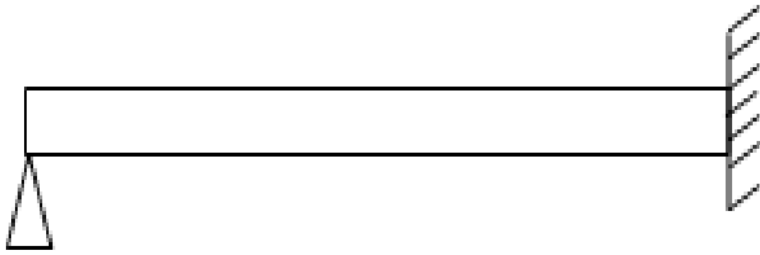
5. Les types des appuis rencontrés le plus souvent

- Sur appuis libres à chaque extrémité



Appui libres à chaque extrémité

- Sur un encastrement et l'autre extrémité libre



Appui encastré et l'autre extrémité libre

- Sur un encastrement dans les deux extrémité



Appui encastré dans les deux extrémité

- Avec un encastrement a une seul extrémité (console)



Appui de poutre console

6. Forme et dimensions des poutres

Type des poutres

- poutres de section carrée, rectangulaire, en forme de T, I, trapézoïdale
- poutres très hautes et étroites (exemple $h=2,5$ m. $b=0,15$ m pour les poutre cloisons. Les poutres sont coûteuse et flexible.
- poutre console de section variable.
- poutre incorporées dans l'épaisseur d'une dalle épaisse (poutre noyée).
- poutre gousset

Condition de flèche: Les déformations des poutres de planchers d'habitation doivent rester faible sans au bon comportement.

- Des cloisons minces;
- Des revêtement horizontaux et verticaux (sols, plafonds, mur) et ne doivent pas être à l'origine des désordres (fissures).

On admet que la flèche ne doit pas dépasser les valeurs dans le tableau suivantes:

Flèche max	Conditions requises	
1/500	Portée $\leq 5,00$ m	Elément en BA reposant sur deux appuis
0,5 cm+1/1000	Portée $> 5,00$ m	
1/250	Cas d'une console avec portée $\leq 2,00$ m	

Les valeur de flèche max

Et le tableau suivant représenté l'indication sur le dimensionnement des poutres en béton armé

Rapport des dimensions	Poutres de section rectangulaire	
	Poutre sur appuis simple	Poutre continues
h/L	1/10 à 1/12	1/12 à 1/15
$0,3 < b/h < 0,5$	Exemple: portée 5,00 $h=50$ cm et $b=20$ cm	Exemple pour une travée portée 6,00 $h=50$ cm et $b=20$ cm

L'indication sur le dimensionnement des poutres

Coffrage des poutres selon l'RPA99 : Les poutres doivent respecter les dimensions ci-après (1)

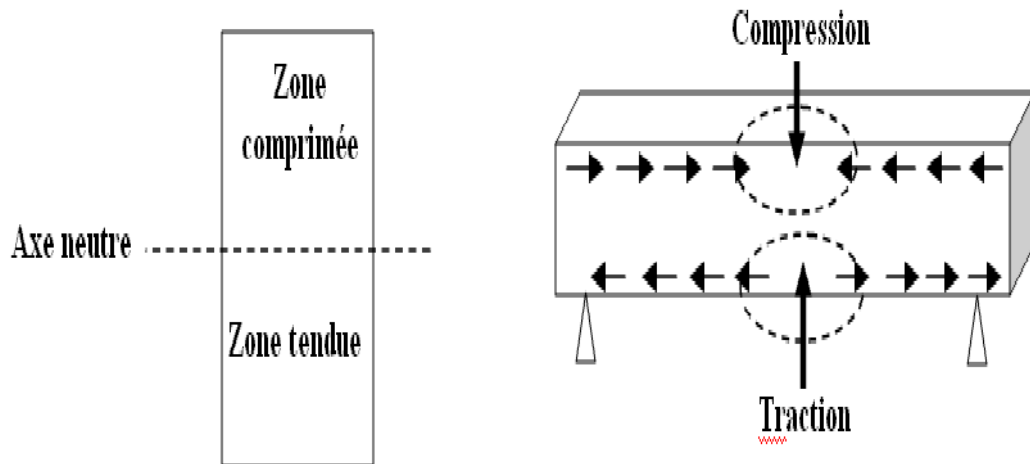
- $b \geq 20$ cm.
- $H \geq 30$ cm.
- $h/b \leq 40$.

7. Fonctionnement d'une poutre à la flexion simple

Un élément est soumis à de la flexion simple si les sollicitations se réduisent à un moment fléchissant M et un effort tranchant T . Si l'effort normal N n'est pas nul, alors on parle de flexion composée.

En béton armé on distingue l'action du moment fléchissant qui concerne le dimensionnement des aciers longitudinaux de l'action de l'effort tranchant qui concerne le dimensionnement des aciers transversaux (cadres, épingles ou étriers). Ces deux calculs sont menés séparément.

Les éléments d'une structure soumis à la flexion simple sont principalement les poutres, qu'elles soient isostatiques ou continues. Pour une poutre isostatique. Le calcul des sollicitations M et T est simple et il est conduit en utilisant les méthodes de la résistance des matériaux (RDM). Pour une poutre continue, l'hyperstaticité rend les calculs plus compliqués et le BAEL propose deux méthodes qui permettent d'évaluer les sollicitations dans les poutres continues en béton armé.



Zone comprimée et zone tendue

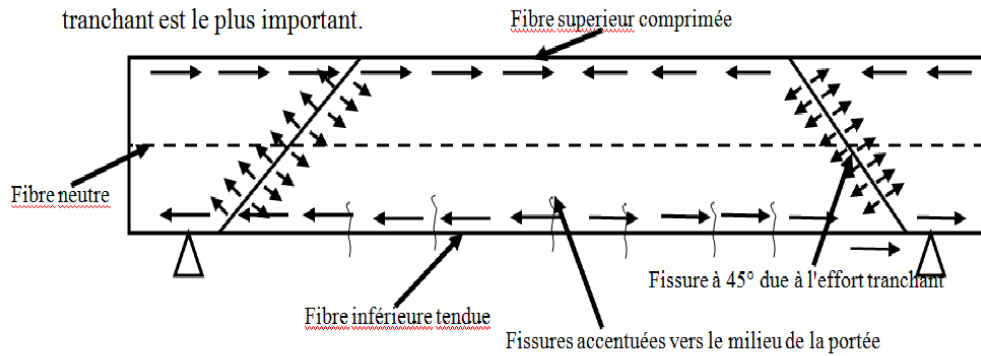
Effet produit par le moment de flexion

- Les fibres inférieures ont tendance à s'allonger → effort de traction.
- les fibres supérieures ont tendance à se raccourcir → effort de compression.
- une couche de fibre située au niveau du centre de gravité de la section ne varie pas; elle est dénommée " fibre neutre" .

Effet produit par l'effort tranchant : il a tendance à la fois:

- Un glissement longitudinal des fibres.
- Un glissement des sections dans le plan vertical.

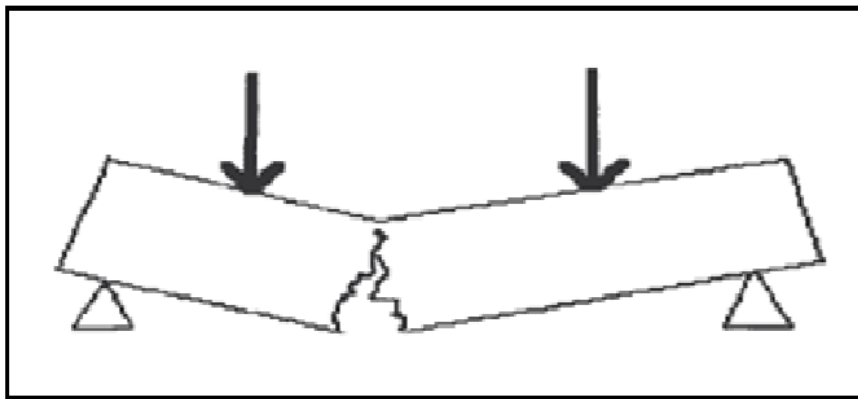
Il développe des contraintes ((contraintes tangentielles)) parallèle aux facettes. Elle entraîne le cisaillement du béton suivant une direction d'environ de 45° à la ligne moyenne. Cette tendance à la fissuration est plus accentuée au voisinage des appuis car dans cette zone la valeur absolue de l'effort tranchant est le plus important.



Les actions internes des poutres

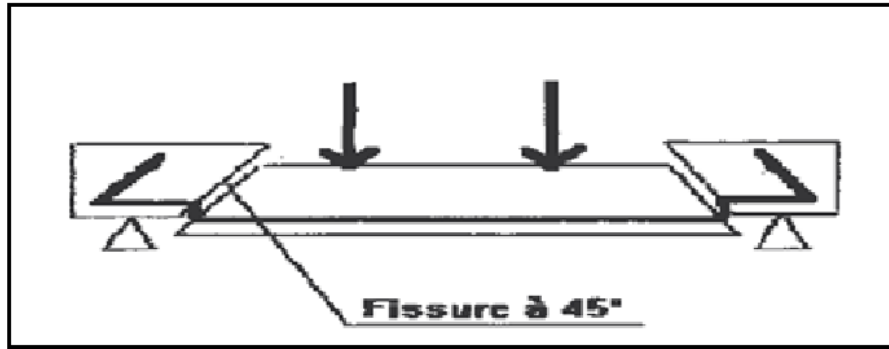
l'effet de moment et l'effort tranchant

- Sur poutre non armé :
La rupture intervient brutalement sous une charge faible suite à une insuffisance en traction.
La résistance en compression du béton, de l'ordre de 25 à 35 MPa est 10 fois plus importante que sa résistance en traction



Fissuration de poutre non armé

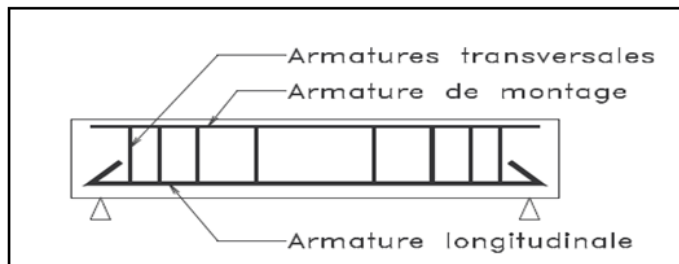
- Sur poutre armée longitudinalement : Nous disposons des armatures en fibre inférieure, là où se développent les contraintes de traction et donc là où le béton montre des insuffisances. L'acier est par contre un matériau possédant d'excellentes capacités de résistance tant en traction qu'en compression mais à utiliser à bon escient et avec parcimonie car il s'agit d'un matériau cher. Sous charges, des fissures apparaissent en partie centrale (2).



Fissuration de poutre armé

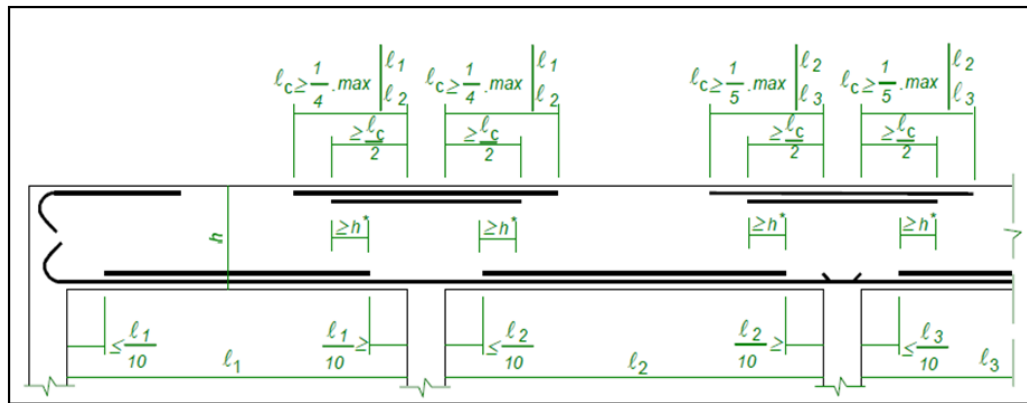
En augmentant les charges appliquées, des fissures à 45° se créent au niveau des deux zones d'appuis provenant d'une insuffisance de résistance du béton à l'effort tranchant. La rupture intervient ensuite sur ces fissures.

- Sur poutre armée longitudinalement et transversalement :
Ajoutons maintenant des armatures transversales particulièrement au niveau des appuis.
La rupture intervient beaucoup plus tard que dans les deux cas précédents. Les armatures en présence tant longitudinales que transversales limiteront l'ouverture des fissures dans le béton.



Fissuration de poutre armé longitudinalement et transversalement

8. Règle concernant les arrêts des armatures longitudinales



Les arrêts des armatures longitudinales

9. Calcul des poutres continues

Pour calculer les moments des poutres continues on utilise la méthode forfaitaire, cette méthode est basé sur quatre conditions.

- La méthode s'applique aux constructions courantes, c'est-à-dire lorsque $Q \leq 2G$ ou $Q \leq 5 \text{KN/m}^2$.
- les moments d'inertie des sections transversales sont identiques le long de la poutre.
- les portées successives sont dans un rapport compris entre 0,8 et 1,25.
- la fissuration ne compromet pas la tenue du béton armé et de ses revêtements (FPP).

Si a, b, c et d sont vérifiées, on appliquera la méthode forfaitaire .

Application de la méthode :

Valeurs des moments: Les valeurs des moments en travée M_t et sur appui M_w et M_e doivent vérifier (3)

$$1. M_t + (M_w + M_e)/2 \geq \text{Max} (1,05M_0; (1 + 0,3 \alpha) M_0)$$

$$2. M_t \geq (1 + 0,3 \alpha)M_0/2 \text{ dans une travée intermédiaire,}$$

$$M_t \geq (1,2 + 0,3 \alpha)M_0/2 \text{ dans une travée de rive.}$$

3. la valeur absolue de chaque moment sur appui intermédiaire doit être au moins égale à :

0,6 M_0 pour une poutre à deux travées,

0,5 M_0 pour les appuis voisins des appuis de rive d'une poutre à plus de deux travées,

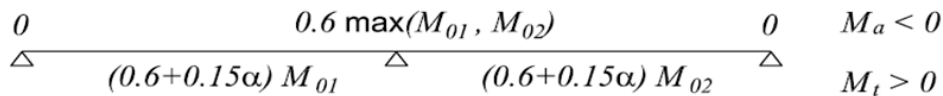
0,4 M_0 pour les autres appuis intermédiaires d'une poutre à plus de trois travées.

avec M_0 la valeur maximale du moment fléchissant dans la travée de référence (travée isostatique indépendante de même portée et supportant le même chargement que la travée considérée) et $\alpha = Q/(G + Q)$ le rapport des charges d'exploitation à la somme des charges non pondérée.

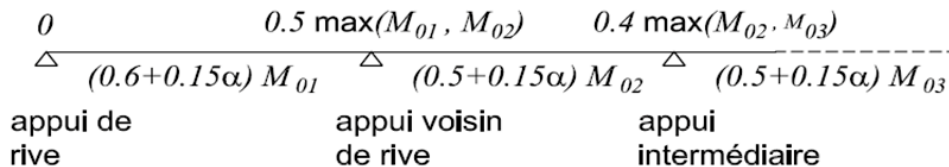
sur appui et en travée pour des poutres à deux travées et plus de deux travées.

Remarque : lorsque, sur l'appui de rive, la poutre est solidaire d'un poteau ou d'une poutre, il convient de disposer sur cet appui des aciers supérieurs pour équilibrer $M_a = 0,15M_0$.

Deux travées



Plus de deux travées



Les moments des appuis et des travers forfaitairement

10. Exercice

- 1- quelle est la section la plus dangereuse de la poutre représentée sur la figure ci-dessous et pourquoi ?.
- 2- Montrer la partie comprimé et la partie tendue sur la section ?.
- 3- quelle est l'effet produit par l'effort tranchant dans les poutre?. avec explication.



CHAPITRE N° 02: POTEAUX

II



Visual Understanding Environment chapitre 02

Connaissances préalables

Calcul des sollicitation, Calcul de pré dimensionnement, Calcul de section d'armature, Flambement, Compression simple.

1. Définition

Les poteaux sont des éléments porteurs verticaux qui transmettent soit directement par la dalle lors qu'il s'agit de plancher-dalle soit par les poutres qui supportent la dalle

- La section des poteaux sont généralement soit - carré – rectangulaire – circulaire.

Les poteaux peuvent être coulés en place ou préfabriqués.

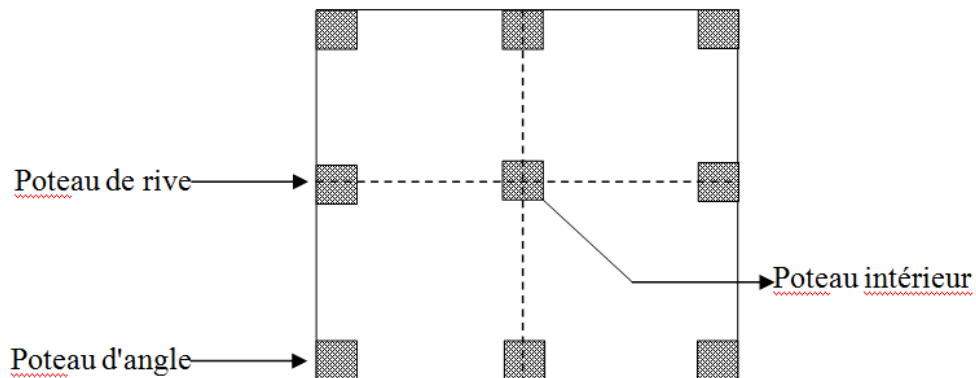
2. Rôle des poteaux

Supporter les charges concentrées verticales (effort de compression).

- participer à la stabilité transversale par le système poteaux-poutres pour combattre les efforts horizontaux.

3. Nature des efforts

- compression (effort des charges verticales centré).
- flexion (effort des charges verticales et horizontale), le poteau travaille comme une poutre verticale qui subit aussi un effort normal de compression.
- Les sollicitation sont indépendantes de la position du poteau dans la construction on distingue :
 1. Poteau d'angle.
 2. Poteau de rive.
 3. Poteau intérieur.



Distribution des poteaux

4. Poteaux en compression simple

Un poteau est une poutre droite verticale soumise uniquement à une compression centrée ($N > 0$ et $M_z = 0$). il serait théoriquement inutile de placer des armatures. Mais les charges transmises au poteau ne sont jamais parfaitement centrées (imperfections d'exécution, moments transmis par les poutres, dissymétrie du chargement).

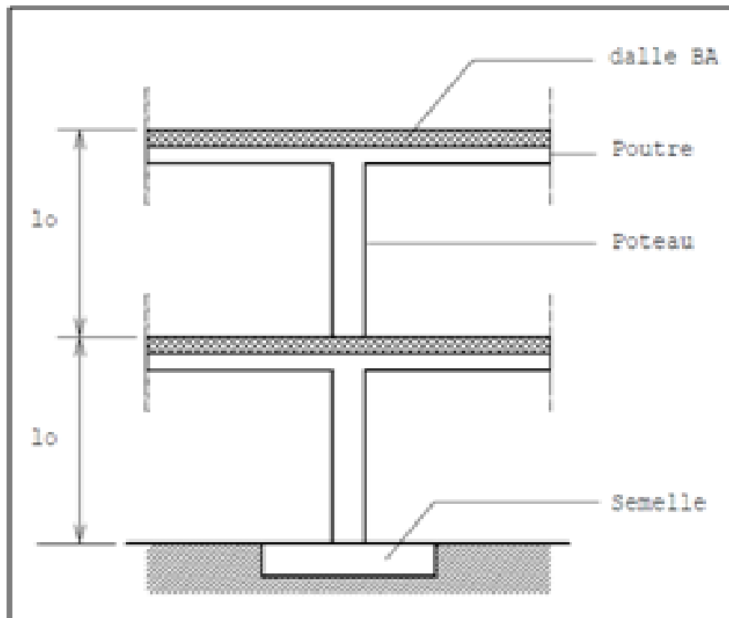
Pour ces raisons, on introduit des armatures longitudinales calculées de façon forfaitaire (car ces moments sont difficiles à estimer). Le risque de flambement des armatures longitudinales conduit à placer des armatures transversales (cadres, étriers ou épingles).

5. Effort normal ultime compression

Il tient compte du poids propre des ouvrage au élément des construction et des ouvrage d'exploitation qui agissant sur la surface de plancher intéressé par le poteau.

Le fonctionnement interne du poteau dépend:

- La charge appliqué.



La longueur libre de poteau

2. Valeurs de la longueur de flambement

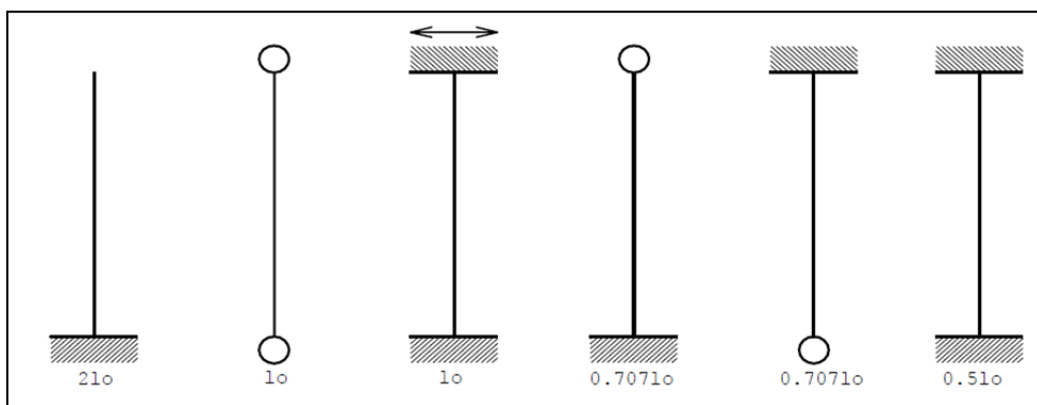
Cas des bâtiments à étages multiples :

$L_f = 0,7 l_0$ si le poteau a ses extrémités :

- soit encastrées dans un massif de fondation
- soit assemblées à des poutres de plancher ayant au moins la même raideur que lui dans le sens du flambement.

$L_f = l_0$ dans tous les autres cas.

Cas des poteaux isolés :



La longueur de flambement dépend des liaisons aux extrémités

L'élancement

1. Rayon de giration minimal

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{B}}$$

Valeur de Rayon de giration minimal

- I_{\min} : moment quadratique minimal de la section de béton seul par rapport à un axe passant par le centre de surface.

- B : aire de la section droite de béton.

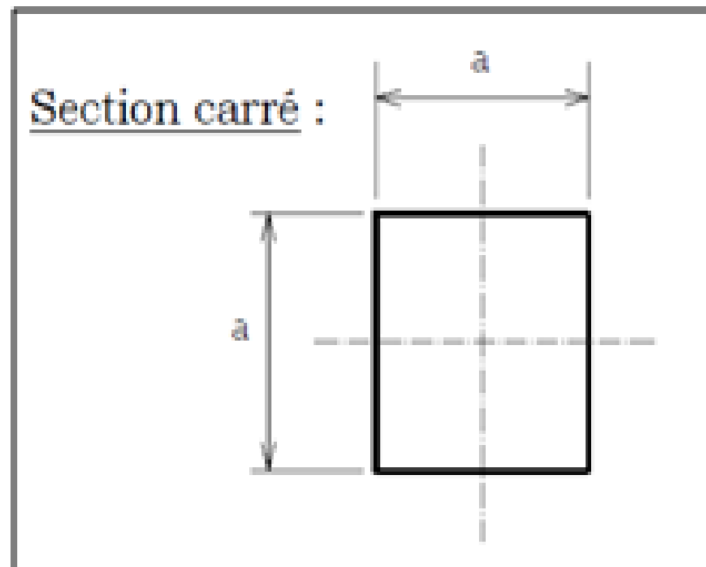
Valeur du rayon de giration pour des sections usuelles :

$$I = \frac{a^4}{12}$$

$$B = a^2$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{B}} = \frac{a\sqrt{3}}{6}$$

Moment d'inertie et surface droite de poteau carré



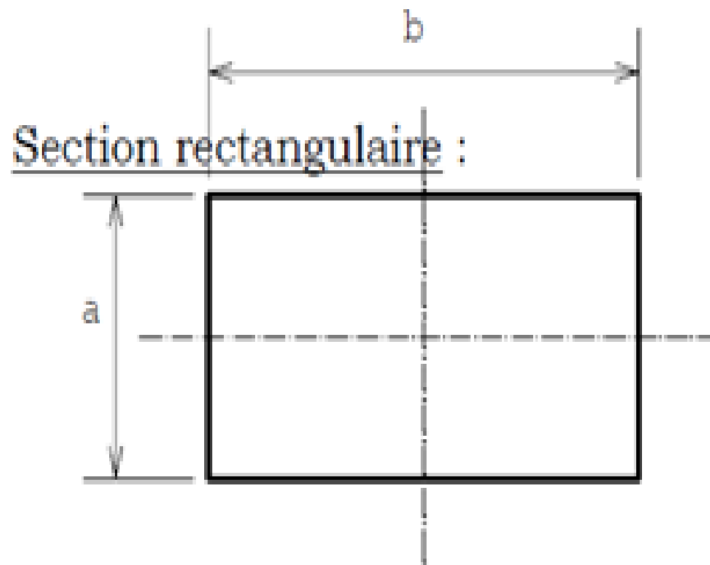
Section de poteau carré

$$I_{\min} = \frac{a^3 b}{12}$$

$$B = ab$$

$$I_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{B}} = \frac{a\sqrt{3}}{6}$$

Moment d'inertie et surface droite de poteau rectangulaire



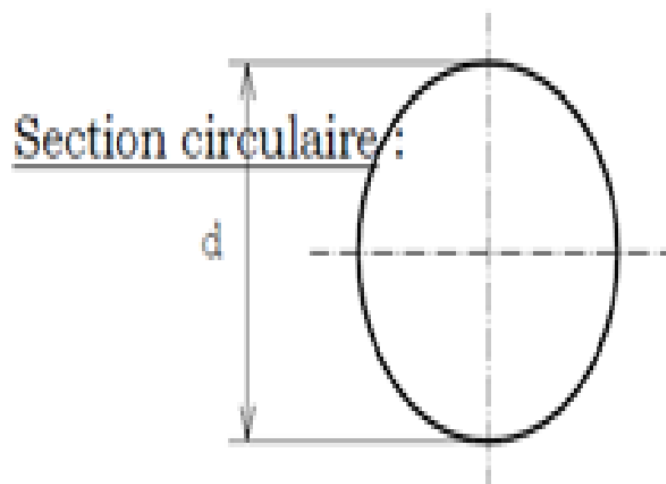
section de poteau rectangulaire

$$I_{\min} = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$B = \frac{\pi d^4}{4}$$

$$I_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{B}} = \frac{d}{4}$$

Moment d'inertie et section droite de poteau circulaire



Section de poteau circulaire

2. Élancement d'un poteau

L'élancement λ d'une pièce comprimée de section constante est le rapport de sa longueur de flambement l_f au rayon de giration i_{\min} de la section de béton seul calculé dans le plan de flambement.(04)

$$\lambda = \frac{l_f}{i_{\min}}$$

L'élancement λ

7. Prédimensionnement des poteaux

Pour calculer les dimensions des poteaux doit respecter les deux critères suivants.

Critère de résistance (RPA99 V2003)

Min (a, b) \geq 25 cm. en zone I et II.

Min (a, b) \geq 30 cm en zone III.

Min (a, b) ≥ h/20. h : hauteur d'étage.

1/4 ≤ a/b ≤ 4.

Pour les poteaux circulaire.

D ≥ 25 cm. en zone I.

D ≥ 30 cm en zone II.

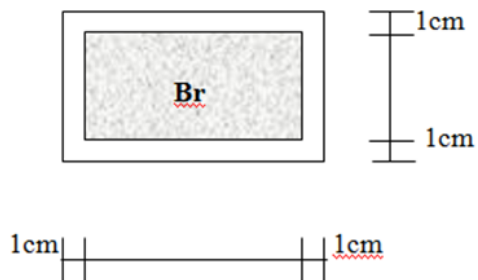
D ≥ 35 cm en zone III.

D ≥ h/15. (1)

Condition de flambement:

$$Nu \leq \alpha \left[\frac{Br f_{c28}}{0.9 \gamma_b} + A_{th} \frac{f_e}{\gamma_s} \right]$$

Effort normal ultime



La section réduite

Nu : Effort normal ultime en MN

Br : section réduite de béton en m²

α : coefficient de flambage

A_{th} : section d'acier en m²

f_{c28} et **f_e** : en MPa (5).

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} \quad \text{si } \lambda < 50$$

$$\alpha = 0,60\left(\frac{50}{\lambda}\right)^2 \quad \text{si } 50 < \lambda \leq 70$$

De plus :

- Si plus de la moitié des charges est appliquée après 90 jours $\rightarrow \alpha = \alpha$
- Si plus de la moitié des charges est appliquée avant 90 jours $\alpha = \alpha / 1.10$
- Si la majeure partie des charges est appliquée à un âge $j < 28$ jours $\alpha = \alpha / 1.20$ et on remplace f_{c28} par f_t

On se fixe un élancement $\lambda = 35$ pour rester toujours dans le domaine de la compression centré $A/Br = 1\%$
 $A = 0,01 Br$

$$\underline{Br} \geq \frac{Nu}{\alpha \left(\frac{Fc28}{0,9\gamma_b} + \frac{Fe}{100\gamma_s} \right)}$$

Le tableau ci-dessous donne le valeur du moment quadratique minimal de la section B de rayon de giration i ainsi que les valeurs du rapport de la longueur de flambement sur la dimension caractéristique de la section pour des valeurs un élancement de 50 et pour des trois formes classiques

Section	I_{\min} [m ⁴]	B [m ²]	i [m]	$\lambda < 50$ si
carré $a \times a$	$a^4/12$	a^2	$a/\sqrt{12} = \sqrt{B/12}$	$l_f/a < 14.4$
rectangulaire $a \times b$	$a^3b/12$	ab	$a/\sqrt{12}$	$l_f/a < 14.4$
circulaire D	$\pi D^4/64$	$\pi D^2/4$	$D/4 = \sqrt{B/4\pi}$	$l_f/D < 12.5$

8. Section des armatures

La section des armatures longitudinale doit satisfaire aux condition suivant

- $A_{\min} \geq \max(4U ; 0,2B/100)$
- A_{\min} : section min des aciers en cm²
- B : Aire de la section droite en cm²
- U : périmètre du poteau en m

$$A_{th} \geq \left[\frac{N_u}{\alpha} - \frac{B r f_{c28}}{0.9 \gamma_b} \right] \frac{\gamma_s}{f_e}$$

La section du béton et la section d'acier doivent pouvoir équilibrer l'effort normal ultime N_u

la section d'acier maximale est A_{max} **inférieur ou égale** $5\%B/100$ avec B : section de béton en cm^2 et A : section d'acier en cm^2

Vérifier que : La section d'acier finale : $A_{sc} = \max (A_{th} ; A_{min})$. Et que : $0.2B/100$ **inférieur ou égale** A_{sc} **inférieur ou égale** A_{max} voir annexe 04

Valeurs de leur espacement , E **inférieur ou égale** $\min(40 \text{ cm} ; a + 10 \text{ cm})$

La section des armatures transversale:

Le rôle principal des armatures transversales est d'empêcher le flambage des aciers longitudinaux.

Leur diamètre est tel que $\emptyset_t = \emptyset_l \text{ max } /3$

Valeurs de leur espacement , t **inférieur ou égale** $\min(40 \text{ cm} ; a + 10 \text{ cm} ; 15\emptyset_l \text{ min})$

Avec le nombre de cours d'acier transversaux à disposer sur la longueur de recouvrement doit être au minimum 3.

9. Longueur de recouvrement

La longueur de recouvrement des barres longitudinales comprimées est : $l_r \geq 0,6 l_s$

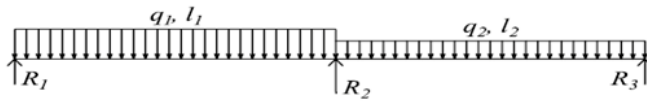
l_s est la longueur de scellement droit prise égal à $40\emptyset$ pour les aciers HA Fe 400 et $50\emptyset$ pour les aciers HA Fe 500.

Avec le nombre de cours d'acier transversaux à disposer sur la longueur de recouvrement doit être au minimum 3.

10. Evaluation des charges verticales

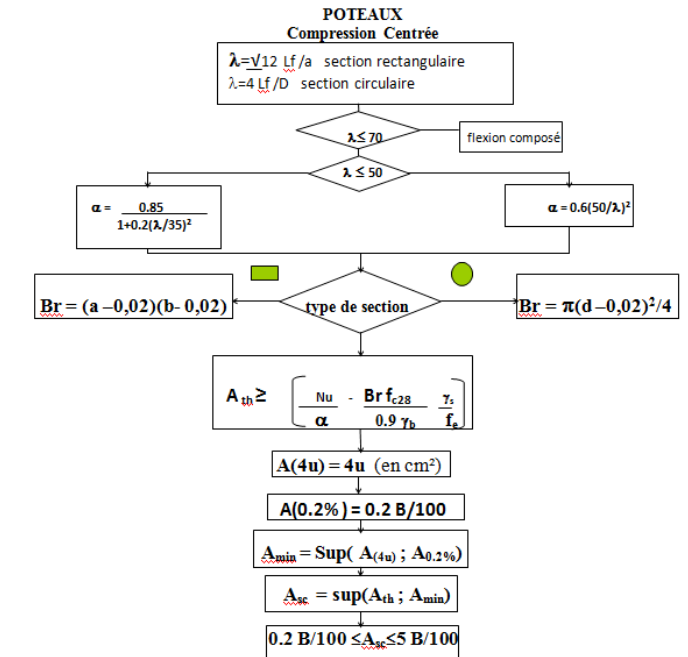
Dans les bâtiment comportant des travées solidaires supporter par des poteaux il convient de majorer les charges calculées en admettant la discontinuité des travées.

- 15% pour les poteaux centrale d'une poutre à deux travées.



$$\begin{aligned}R_1 &= q_1 l_1 / 2 \\R_2 &= 1.15 (q_1 l_1 + q_2 l_2) / 2 \\R_3 &= q_2 l_2 / 2\end{aligned}$$

- 10% pour les poteaux intermédiaires voisin de poteau de rive dans le cas d'une poutre comportant de trois travées.



Annexe 04

11. Exercice

Soit à déterminer les armatures d'un poteau à section rectangulaire de 40x30 cm soumis à un effort normal centré $N_u=1800$ KN. Ce poteau fait partie de l'ossature d'un bâtiment à étages multiples, sa longueur de flambement a pour valeur $l_f=3$ m. Les armatures longitudinales sont en acier FeE400. Le béton a pour résistance à la compression à 28j $f_{c28}=25$ Mpa. La majorité des charges n'est appliquée qu'après 90 jours.

1. déterminer la section des armatures longitudinales et transversales ainsi que leur espacement.
2. Faites le choix des aciers et le schéma de ferrailage de la section transversale.