

Chapitre 1 : Calcul des éléments secondaires

Les éléments structuraux qui n'apportent pas de contribution significative à la résistance aux actions sismiques ou à leur distribution sont considérés comme éléments secondaires (éléments non contribués au contreventement de la structure).

Ce chapitre présente le calcul de ferrailage des éléments secondaires qui sont l'acrotère, les balcons et les escaliers.

1. Acrotère :

1.2. Définition :

L'acrotère est un élément de façade situé au-dessus de la toiture ou de la terrasse, à la périphérie du bâtiment, et constituant des rebords ou garde-corps, pleins ou à claire-voie (Figure 1). La fonction de l'acrotère est non seulement esthétique mais technique car elle permet de traiter les relevés d'étanchéité d'une toiture en terrasse.

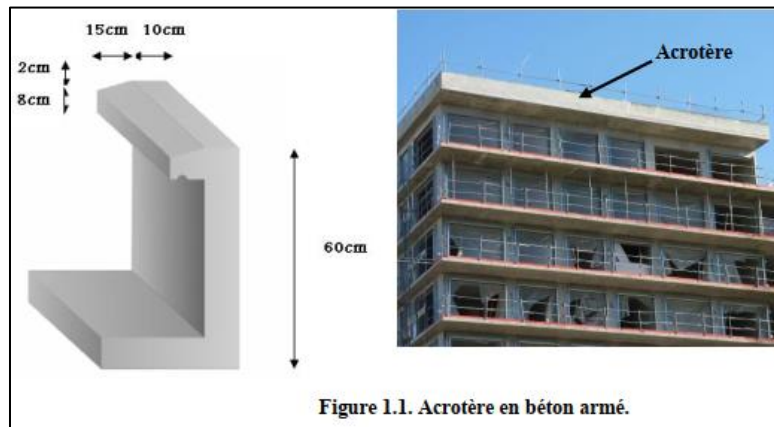


Figure 1. Acrotère en béton armé

1.3. Différents type d'acrotères

On distingue :

1.3.1. Les acrotères bas: dont la hauteur au-dessus de la protection de l'étanchéité ne dépasse pas 300mm. Ils sont admis dans tous les cas : murs de façade en béton banché ou en maçonnerie d'éléments (Figure 2). Ils sont obligatoirement en béton armé. Leur épaisseur minimale est de 100mm. Les acrotères bas ou hauts sont réalisés en œuvre ou préfabriqués.

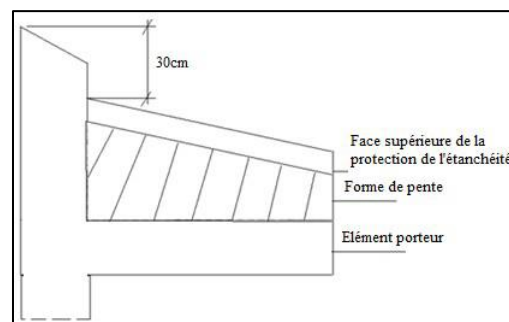


Figure 2: Schéma d'un acrotère bas.

1.3.2. Les acrotères hauts en béton armé: Les acrotères hauts sont réalisés sur toute leur hauteur en béton armé. Ils ne sont admis que s'ils surmontent des murs de façade en béton banché ou à ossature en béton armé avec maçonnerie de remplissage (Figure 3). L'espacement des joints verticaux ne peut dépasser:

- 8 m dans les régions sèches ou à forte opposition de température,
- 12m dans les régions humides ou tempérées

Les joints transversaux doivent être calfeutrés sur tout leur développé par un mastic élastomère.

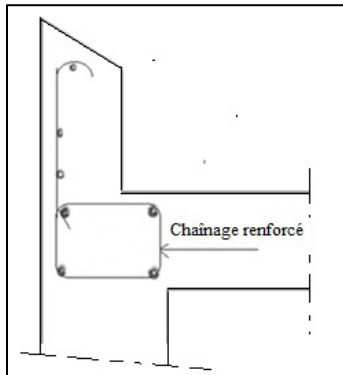


Figure 3: Ferrailage d'un acrotère haut.

1.3.3. Les acrotères hauts en maçonnerie d'éléments: Ces systèmes doivent bénéficier d'un avis technique favorable pour cet emploi.

1.3.4. Les acrotères hauts mixtes: Ces acrotères ne peuvent pas être utilisés pour l'accrochage d'échafaudages volants de type pinces. Ils sont limités aux terrasses inaccessibles.

1.4. Calcul de l'acrotère

Il est calculé comme une console encastrée au niveau du plancher terrasse qui représente la section dangereuse, et soumise à la flexion composée due aux sollicitations d'un effort normal produit de son poids propres, et une force horizontale produite de la main courante ou de l'effet sismique. Le calcul de ferrailage se fait pour une bande de 1m de largeur ($b = 1m$)

1.4.1. Charges sur les acrotères

Les acrotères sont soumis aux actions suivantes:

A) Charges permanentes,

B) Charges d'exploitations (main courante),

C) Charges climatiques (vent),

D) Charges d'entretien des toitures: Les charges d'entretien sont considérées comme des actions variables au même titre que les charges d'exploitation.

1.4.2. Détermination de ferrailage des acrotères :

Les acrotères sont généralement ferrillés en flexion simple (dans la plupart des cas le poids propre de l'acrotère qui génère un effort de compression est négligé) sous l'action d'un moment découlant du cas le plus défavorable entre l'action de la main courante "F" et l'action sismique représentée par une force horizontale notée «Fp».

- Force horizontale

D'après RPA article (6-2-3) l'acrotère doit résister à la force horizontale due au séisme indiquée comme suit :

$$F_P = 4 \cdot C_p \cdot A \cdot W_p$$

Avec :

A : Coefficient d'accélération de zone obtenu dans le tableau (4.1) de RPA 99.

Pour la zone et le groupe d'usage appropriés :

Groupe d'usage 2 et Zone IIa $\Rightarrow A = 0.15$

C_p : Facteur de force horizontale, obtenu d'après le tableau (6.1) de RPA 99 $\Rightarrow C_p = 0$.

W_p : Poids de l'élément secondaire considéré

La condition pour que l'acrotère puisse résister à cette force est : $F_P < 1.5Q$

• **Calcul à l'état limite ultime :**

$$N_u = 1.35 \times G \times L =$$

$$M_u = 1.5 \times Q_u \times H \times L$$

$$T_u = 1.5 \times Q_u \times L$$

L'acrotère est sollicité à la flexion composée et le calcul se fait pour une section rectangulaire

$$e_0 = \frac{M_u}{N_u}$$

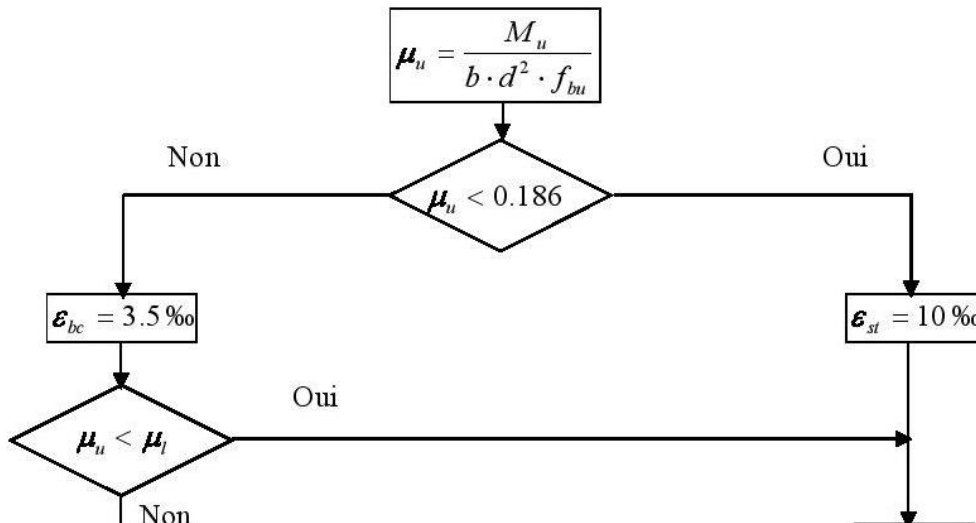
La distance entre le centre de gravité de la section et la nappe d'acier comprimé est donnée

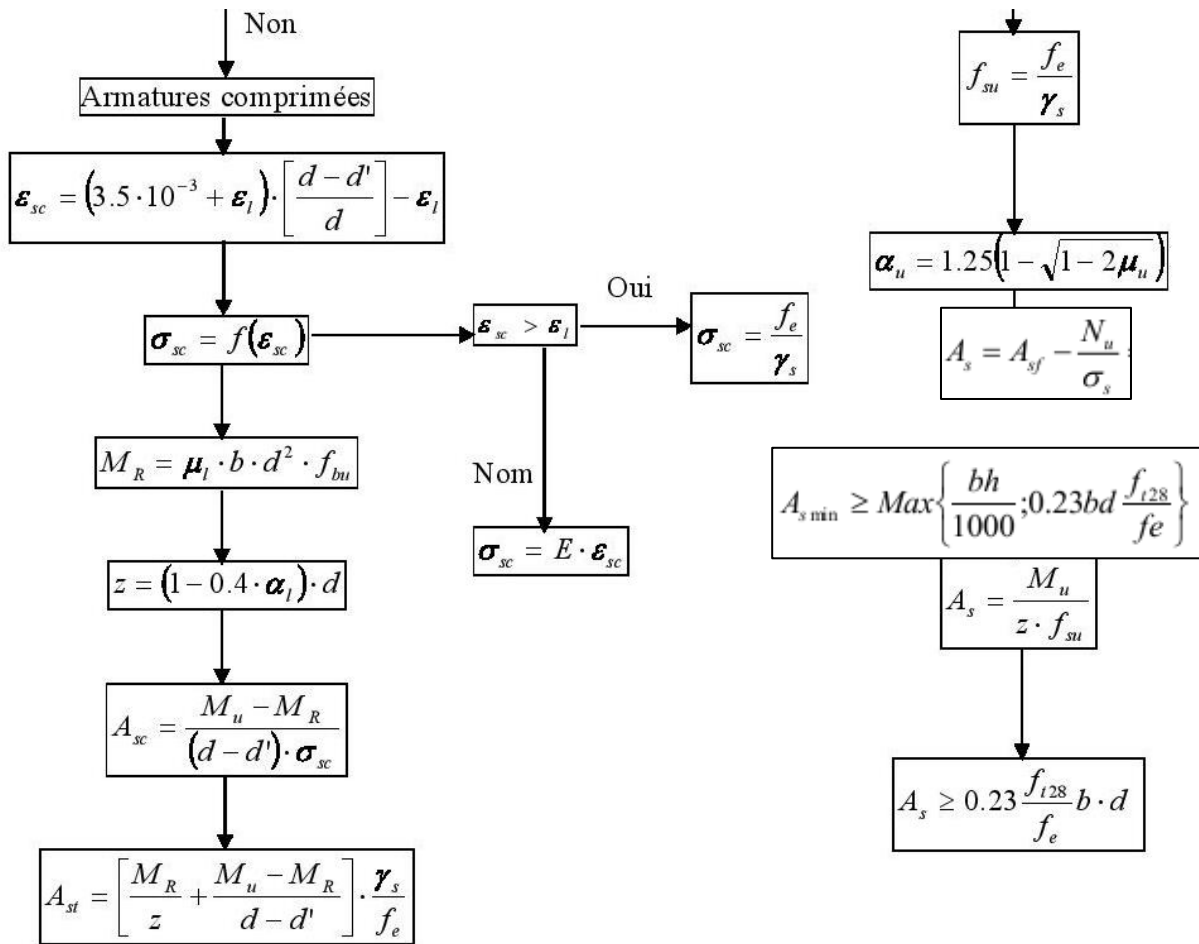
$$\frac{h}{2} - c' ;$$

Si $e_0 > \frac{h}{2} - c'$; donc le centre de pression (point d'application de l'effort normal de compression

N_u) est situé en dehors des deux nappes d'acier. La section étudiée est considérée comme partiellement comprimée. Les armatures seront calculées à la flexion simple sous l'effet du moment fictif :

$$M_f = M_u + N_u \left(\frac{h}{2} - c' \right)$$





Avec $\epsilon_l = \frac{f_e}{\gamma_s \cdot E}$; $E = 2.10^5 \text{ MPa}$; $\alpha_l = \frac{3.5}{3.5 + 1000\epsilon_l}$; $\mu_l = 0.8\alpha_l(1 - 0.4\alpha_l)$

L'espacement S_t doit vérifier la condition suivante :

$$S_t \geq \min \{3h; 33\text{cm}\}$$

Les armatures de répartitions sont calculées par :

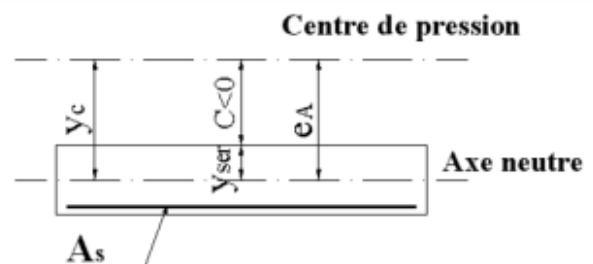
$$A_r \geq \frac{A_t}{4}$$

- Vérification à l'état limite de service :

$$N_s = G \times L$$

$$M_s = Q_u \times H \times L$$

$$T_s = Q_u \times L$$



$$e_0 = \frac{M_s}{N_s}$$

La distance C est calculée par :

$$C = e - \frac{h}{2}$$

La distance y_c est la solution de l'équation suivante :

$$y_c^3 + py_c + q = 0$$

$$\text{Avec : } p = -3c^2 + 6n(c + c') \frac{A_s}{b} + 6n(d + c) \frac{A_s}{b}$$

$$q = 2c^3 - 6n(c + c')^2 \frac{A_s}{b} - 6n(d + c)^2 \frac{A_s}{b}$$

La solution de l'équation du troisième degré est donnée par :

$$\Delta = q^2 + 4 \left(\frac{p}{3} \right)^3$$

$$\cos \varphi = \frac{3q}{2p} \sqrt{\frac{-3}{p}}$$

$$a = 2 \sqrt{\frac{-p}{3}}$$

Choisir la solution qui convient parmi les trois solutions qui sont: $Y_1 = a \cos\left(\frac{\varphi}{3}\right)$;

$$Y_2 = a \cos\left(\frac{\varphi}{3} + 120^\circ\right) ; Y_3 = a \cos\left(\frac{\varphi}{3} + 240^\circ\right)$$

$$\text{si } \Delta > 0 : t = 0,5(\sqrt{\Delta} - q) \quad z = t^{1/3} \quad Y_c = z - p/3z$$

Une seule solution convient car :

$$0 < Y_{\text{ser}} = Y_c + c < d$$

Moment d'inertie de la section réduite homogène

$$I = \frac{b Y_{\text{ser}}^3}{3} + 15[A_s(d - Y_{\text{ser}})^2 + A'_s(Y_{\text{ser}} - d')^2]$$

Coefficient angulaire des contraintes

$$K = \frac{N_{\text{ser}}}{I} Y_c$$

Calcul des contraintes

a. **Contrainte de compression dans le béton** $\sigma_b = KY_{ser}$ et $\bar{\sigma}_b = 0.6f_{c28}$

b. **Contrainte de traction dans l'acier** $\sigma_s = nK(d - Y_{ser})$

$$\text{et } \bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3}f_e; 110\sqrt{\eta * f_{t28}} \right\}; \quad \eta = 1.6$$

Vérification de l'effort tranchant

D'après le **BAEL91** :

$$\tau_u = \frac{V_u}{bd} \leq \bar{\tau}_u = \min \left\{ 0.15 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPa} \right\}$$

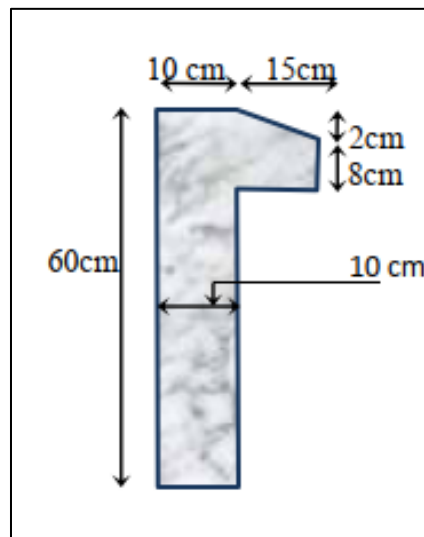
Application :

Soit l'acrotère de la figure ci-dessous :

Calculer le ferrailage transversal et longitudinal sous sollicitations externes.

On donne :

- La densité du béton $\rho_b = 25\text{KN/m}^3$, la densité du revêtement ciment ($e=2\text{cm}$) : $\rho_c = 14\text{KN/m}^3$,
- $f_{c28} = 25\text{MPa}$, $h = 10\text{cm}$, $c=c' = 2\text{cm}$, $f_e = 400 \text{ MPa}$.
- La charge d'exploitation due à la main courante est donnée par : $Q = 1 \text{ kN/ml}$.
- La structure est un bâtiment à usage d'habitation dont la hauteur ne dépasse pas 48 m, donc il est classé dans le groupe 2. Pour la zone III et groupe 2, le coefficient A égal à 0.25 (Article 4.2.3, RAP 99 /Version 2003), Selon le Tableau 6.1 de RAP 99 /Version 2003, le facteur C_p égal à 0.8



2. Balcon :

2.1. Définition :

Les balcons sont des dalles pleines (épaisseur entre 8 et 20cm) encastrées dans des poutres horizontales, entourés d'une rampe où d'un mur de protection. Ils sont assimilés à des consoles qui débordent des façades des bâtiments.

2.2. Efforts exercés sur les balcons

Les efforts exercés dans un balcon en service, qui ne repose plus sur un étaielement, sont fonction du type de balcon à réaliser. On distingue principalement les balcons en porte-à-faux et les balcons sur appuis extérieurs.

- **Balcons en porte-à-faux**

Dans le cas des balcons en porte-à-faux, les efforts exercés sont un effort tranchant et un moment fléchissant (figure 4).

La reprise de ce moment fléchissant est assurée par des armatures principales positionnées en partie supérieure du balcon, ce qui n'est pas courant dans la réalisation des planchers.

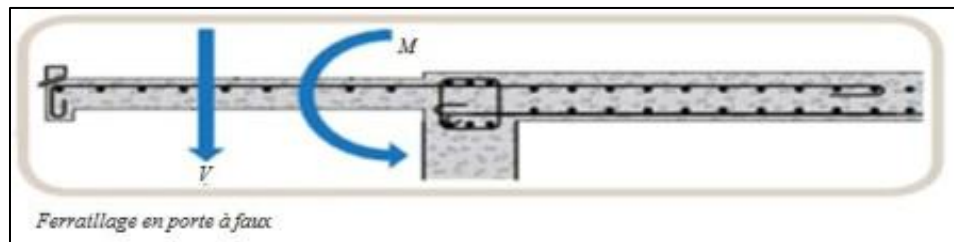


Figure 4: Sollicitations dans un balcon en porte-à-faux.

Les balcons en béton armé sont réalisés en dalle pleine dont l'épaisseur varie entre 8 et 20cm. Différents modes d'appuis peuvent être proposés (Figure 5).

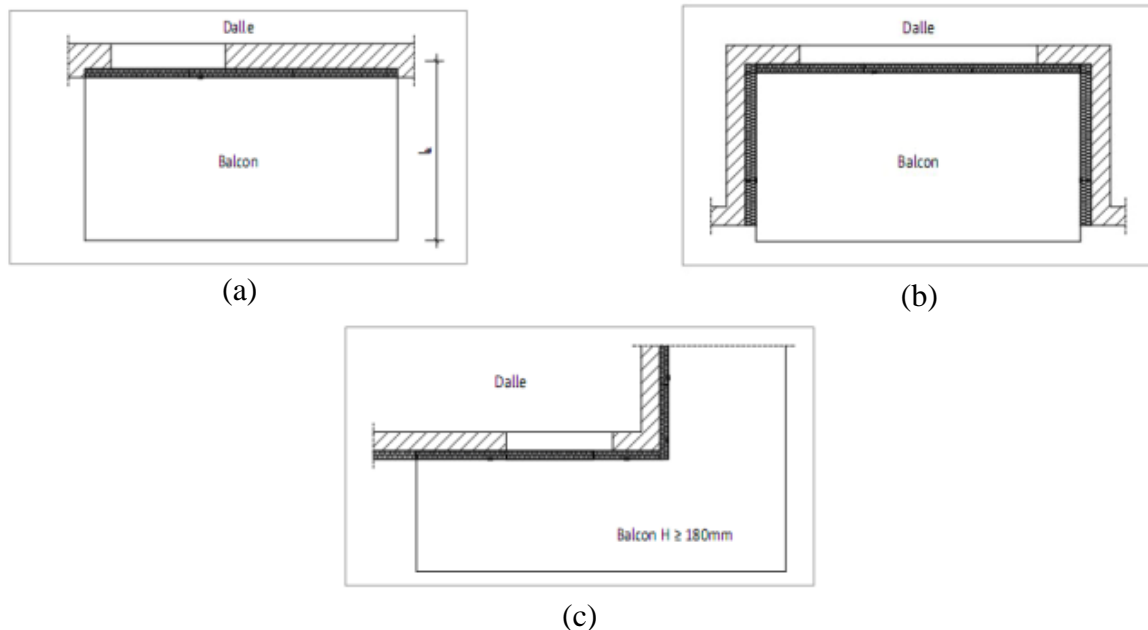


Figure 5: Balcon en béton armé : a) porte-à-faux, b) appuyé sur trois côtés, c) angle extérieur.

2.3. Calcul des balcons en béton armé

Le calcul des balcons se fera à la flexion simple pour une bande d'un mètre de largeur. L'épaisseur de la dalle pleine résulte généralement des deux conditions suivantes:

- Résistance à la flexion ;
- Sécurité en matière d'incendie (épaisseur = 11cm pour 2 heures de coupe-feu).

2.3.1. Charges de calcul

- Poids propre de la dalle,
- Poids du revêtement (mortier de pose + revêtement),
- Charge concentrée à l'extrémité libre, représentant le garde-corps,
- Charge d'exploitation = 350kg/m² (selon le DTR BC-2.42).

Les balcons seront calculés comme des consoles horizontales encastrés aux niveaux des poutres. La fissuration est considérée généralement comme préjudiciable.

2.3.2. Disposition des armatures

La figure suivante présente un exemple de ferrailage d'un balcon

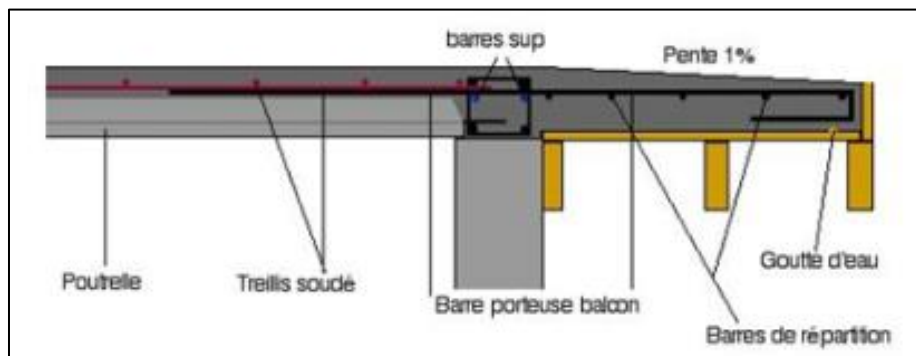


Figure 6. Schéma de ferrailage du balcon en béton armé.

3.2.3. Vérification de la flèche :

La vérification de la flèche se fait sous charges non pondérées (ELS). Cette vérification n'est pas nécessaire si les trois conditions suivantes sont vérifiées :

$$[1] \rightarrow \frac{h}{l} > \frac{1}{16}$$

$$[2] \rightarrow \frac{h}{l} \geq \frac{1}{20} \left(\frac{M_r}{M_0} \right)$$

$$[3] \rightarrow \frac{A}{b \times d} < \frac{4,2}{f_c}$$

- **Flèches admissibles :**

Pour les éléments supports reposant sur deux appuis :

$$\frac{l}{500}, \text{ si } l \leq 500 \text{ cm}$$

$$0,5 \text{ cm} + \frac{l}{1000}, \text{ si } l > 500 \text{ cm}$$

pour les éléments supports en console :

$$\frac{l}{250}, \text{ si } l \leq 200 \text{ cm}$$

Flèche maximale au niveau de l'extrémité libre (Figure 7) :

$$f_{\max} = \frac{q \times l^4}{8EI} + \frac{F \times l^3}{3EI}$$

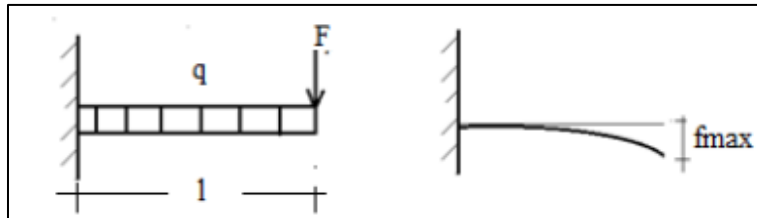


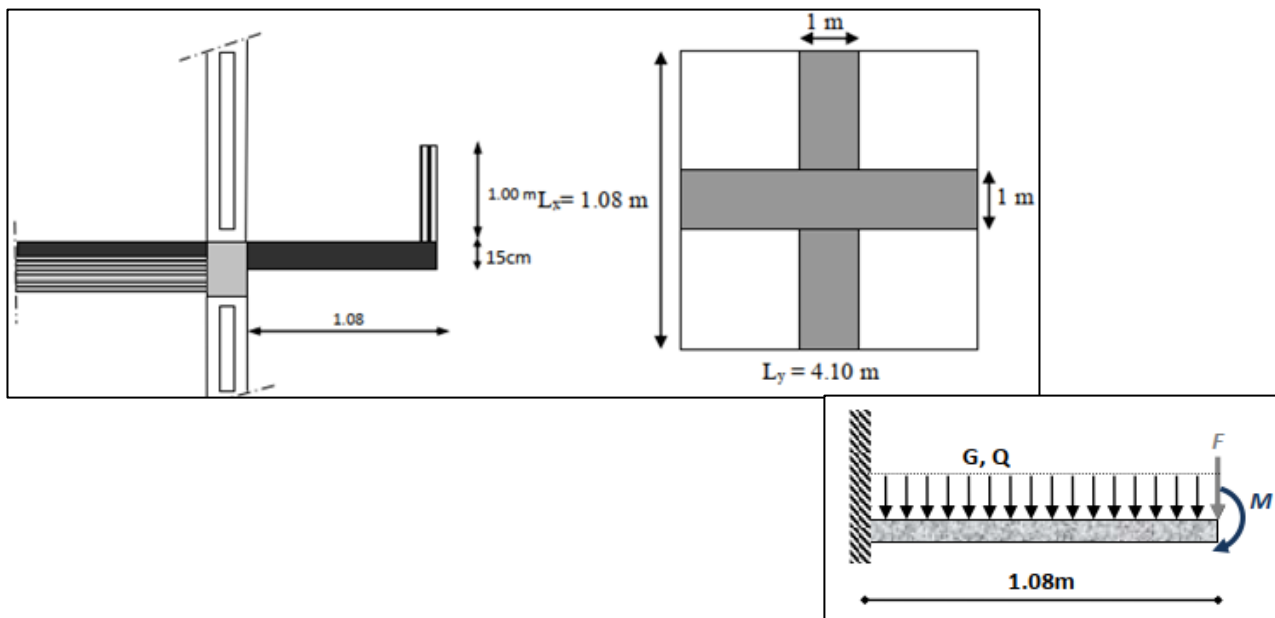
Figure.7. Flèche au niveau d'une console

Application

Soit le balcon représenté sur la Figure ci-dessous : ($L_x = 1.08$, $L_y = 4.10$)

On demande de calculer le ferrailage longitudinal et le ferrailage transversal.

Données: $f_{c28} = 25$ MPa, $f_{eE} = 400$ MPa, $c = 2$ cm, Carrelage ($e = 2$ cm et $\rho = 22$ kN/m³), Mortier de pose ($e = 3$ cm et $\rho = 20$ kN/m³), Enduit en ciment ($e = 2$ cm et $\rho = 18$ kN/m³), Brique creuse : (10cm, $\rho = 0.9$ kN/m³).



3. Escaliers

L'escalier est une construction architecturale constituée d'une suite régulière de marches, permettant d'accéder à un étage, de passer d'un niveau à un autre en montant et descendant. La conception d'un escalier impose la connaissance d'un certain nombre d'éléments qui permettront de le définir correctement. Lors de la conception d'un escalier, il est impératif de bien connaître sa destination pour respecter la réglementation qui lui sera appliquée. Il est donc important de bien connaître la réglementation associée pour ne pas se faire refuser un escalier.

Les différents éléments d'un escalier sont :

- **La volée** : c'est la partie comportant une suite des marches égales. Elle est située entre deux paliers successifs. Une volée ne doit pas comporter plus de 22 marches et moins de 3 marches.
- **Le palier** : c'est la partie horizontale, arrêtant la suite des marches au droit d'un étage, ou entre les étages, pour assurer l'accès à chaque niveau intermédiaire (palier d'arrivée ou palier intermédiaire)
- **La pailasse** : c'est la dalle en pente supportant les marches d'une volée.
- **Le jour** : c'est la largeur en plan du vide entre deux volées parallèles
- **La marche** : c'est la surface délimitée par la foulée et l'embranchement (la partie horizontale des gradins constituant l'escalier)
- **La contre marche** : c'est la partie verticale prenant place entre deux marches. (la partie verticale de ces gradins).
- **La hauteur de marche** : c'est la distance verticale entre deux marches. Cette distance peut varier entre les différents types d'escaliers de 13cm pour les escaliers d'honneur à 19cm pour les escaliers intérieurs. Pour un escalier classique on retiendra la valeur de 17 cm.
- **Le giron** : c'est la distance horizontale constante entre deux nez de marches consécutives.
- **L'embranchement** : c'est la largeur utile d'une volée, elle est en fonction de la destination de l'escalier.
- **Le collet** : c'est le nom donné au bord limitant l'escalier du jour
- **La foulée** : c'est la distance horizontale comprise entre chaque contre marche
- **La ligne de foulée** : c'est la projection en plan du trajet suivi par une personne suivant l'escalier. Pour les escaliers dont la largeur d'embranchement n'excède pas 110m, la ligne de foulée se trouve au milieu de l'embranchement.

La Figure 1.8 présente les éléments d'un escalier.

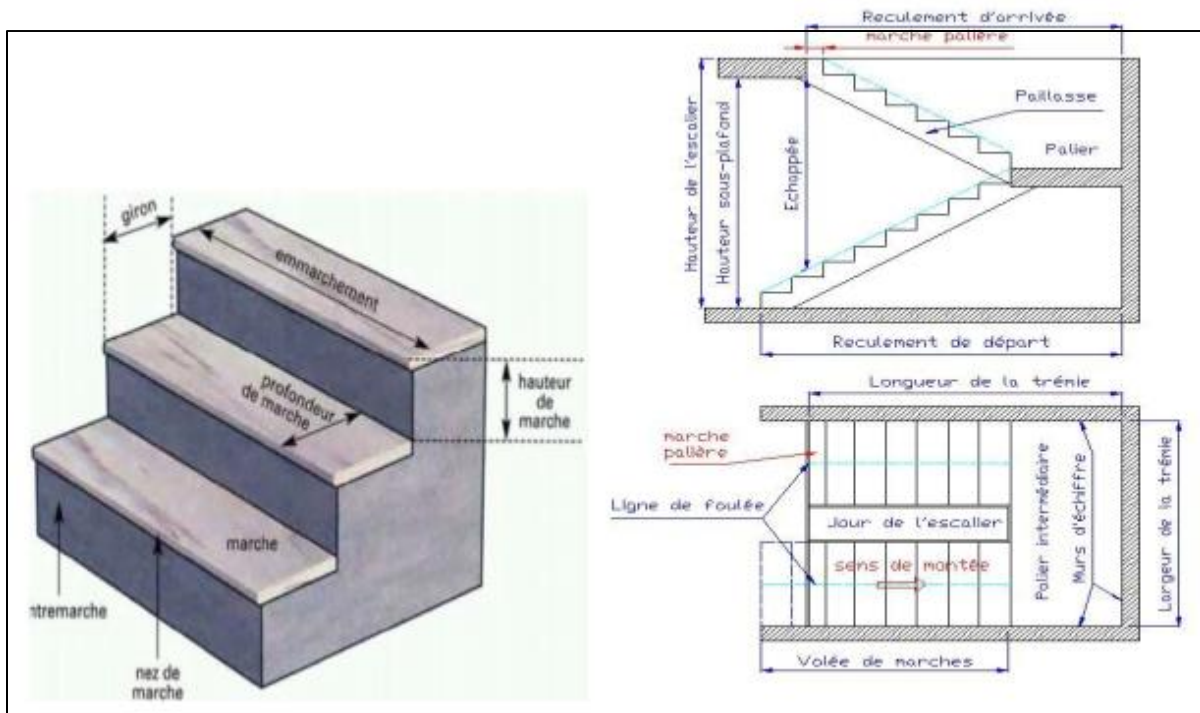


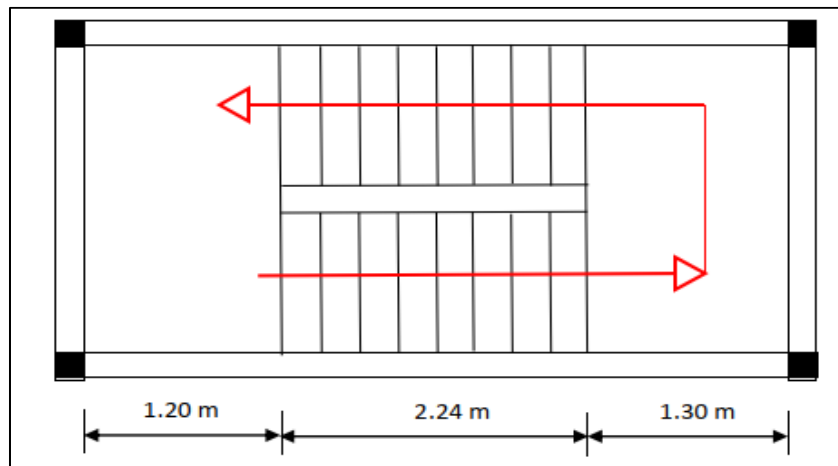
Figure 8. Coupe et éléments de l'escalier.

Application

Soit le type d'escalier droit représenté sur les Figure ci-dessous, constitué de deux paliers et une volée intermédiaire. Ce type d'escalier est situé dans un bâtiment en béton armé à usage d'habitation avec une hauteur d'étage « h_e » de 3.06 m.

On demande de :

1. Dimensionner l'escalier.
2. Evaluer les charges et les surcharges
3. Donner le schéma statique de l'escalier.
4. Calculer les sollicitations à l'état limite ultime.
5. Calculer le ferrailage longitudinal et faire un schéma de ferrailage.



Référence du cours:

Dr. Touhami TAHENNI, "Structures en béton armé 2", Université Djilali BOUNAAMA Khemis Miliana, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de la Technologie, 2022.