

CHAPITRE 8

CONCEPTION ET CALCUL DES ESCALIERS EN BETON ARME

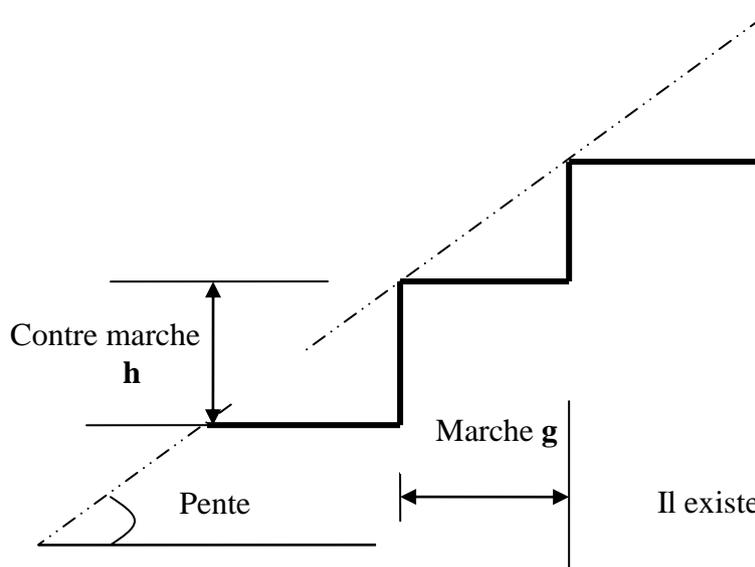
- avec exercice résolu -

I. GENERALITES

Les exigences requises pour les escaliers sont données pour les utilisations privées et publiques.

Escaliers privés : pour utilisation avec un seul logement

Escaliers publiques (communs): pour utilisation avec plus d'un logement.



	Escaliers privés	Escaliers publics
Contre marche h	≤ 220 mm	≤ 190 mm
Marche g	≥ 220 mm	≥ 230 mm
Pente	≤ 42°	≤ 38°
Nombre de marches dans une volée	/	≤ 18

Il existe une relation entre g et h, comme suit :

$$550 \text{ mm} < g + 2h < 700 \text{ mm}$$

Couramment, la *contre marche h* varie entre 140 et 200 mm, avec une moyenne de 170mm, et la *marche g* varie entre 220 et 330 mm avec une moyenne de 260mm.

La longueur d'une marche, appelée *emmarchement*, varie entre 1,0m et 2,0m selon la nature de l'escalier (publique ou privé).

Soit H la hauteur à monter par une *volée* d'escalier ou *élévation* de l'escalier et soit h la hauteur des marches (contre marche), le rapport $n = H/h$ donne le nombre de marches (ou nombre de contre marches), qui n'est pas en général un nombre entier ; on prend souvent le nombre entier k immédiatement supérieur ou inférieur donnant une hauteur $h' = H/k$. C'est ce h' qui devient la nouvelle hauteur des marches à respecter scrupuleusement dans la réalisation pour éviter d'avoir des problèmes au niveau de la dernière marche.

Les escaliers peuvent être classés en deux types :

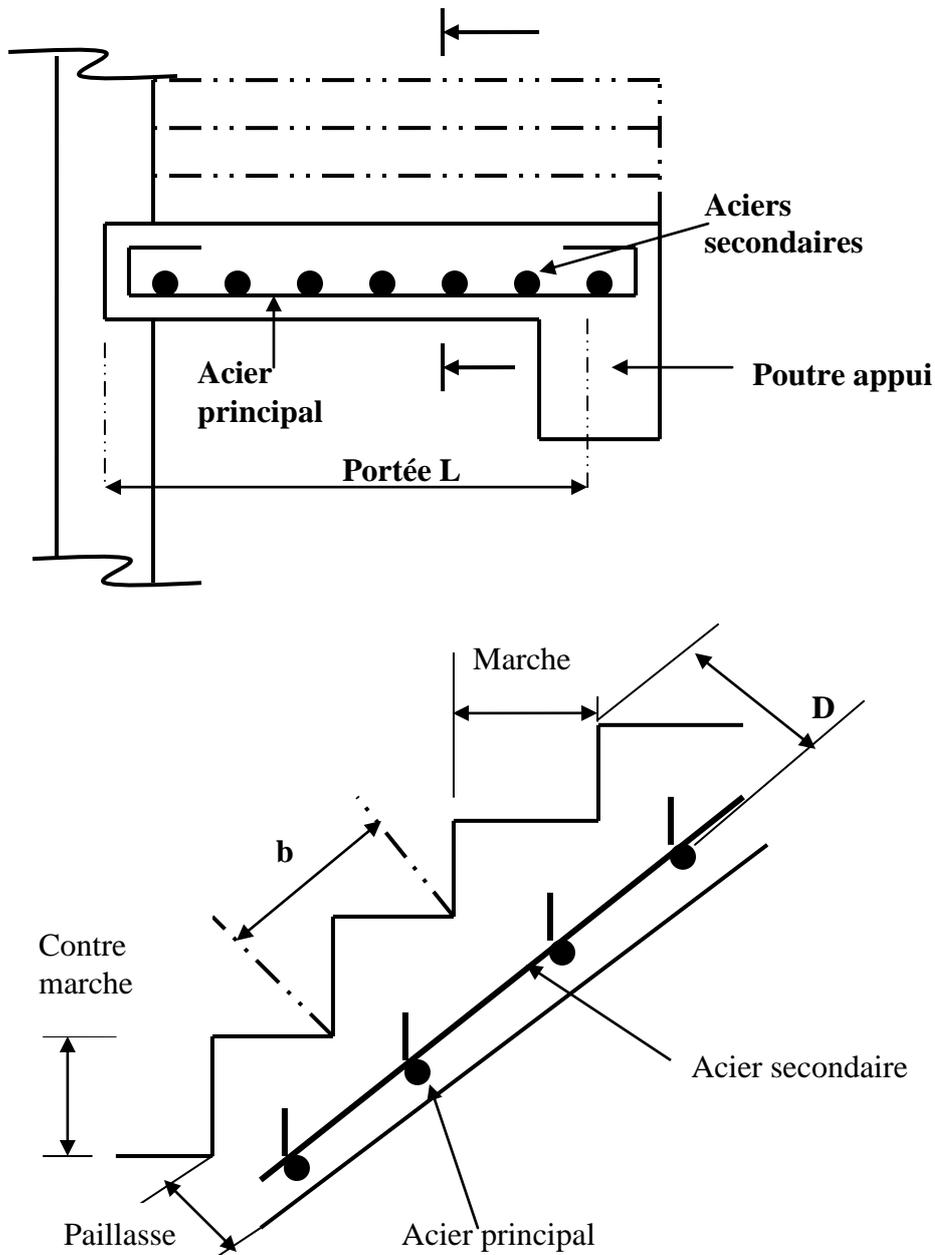
- (a)- Des escaliers portant horizontalement dans la direction transversale

(b)- Des escaliers portant longitudinalement entre appuis à la partie supérieure et à la partie inférieure de la volée. Les appuis peuvent être des poutres, des murs ou même des paliers-dalles.

II. ESCALIERS PORTANT TRANSVERSALEMENT (HORIZONTALEMENT)

Les escaliers portant transversalement peuvent être appuyés aux deux extrémités sur des murs, sur un mur et une poutre de rive ou même sur deux poutres. Ils peuvent aussi être en porte à faux à partir d'un mur.

- La figure ci-dessous montre un escalier-dalle portant entre un mur et une poutre.



L'escalier-dalle est calculé comme une série de poutres; c'est à dire chaque marche est calculée comme une poutre ayant une largeur b et une hauteur effective $d = D/2$. L'acier principal consiste en général en une barre par marche. L'acier secondaire est placé longitudinalement le long de la volée.

- Le schéma ci-dessous montre des escaliers portant transversalement, en porte à faux à partir d'un mur :

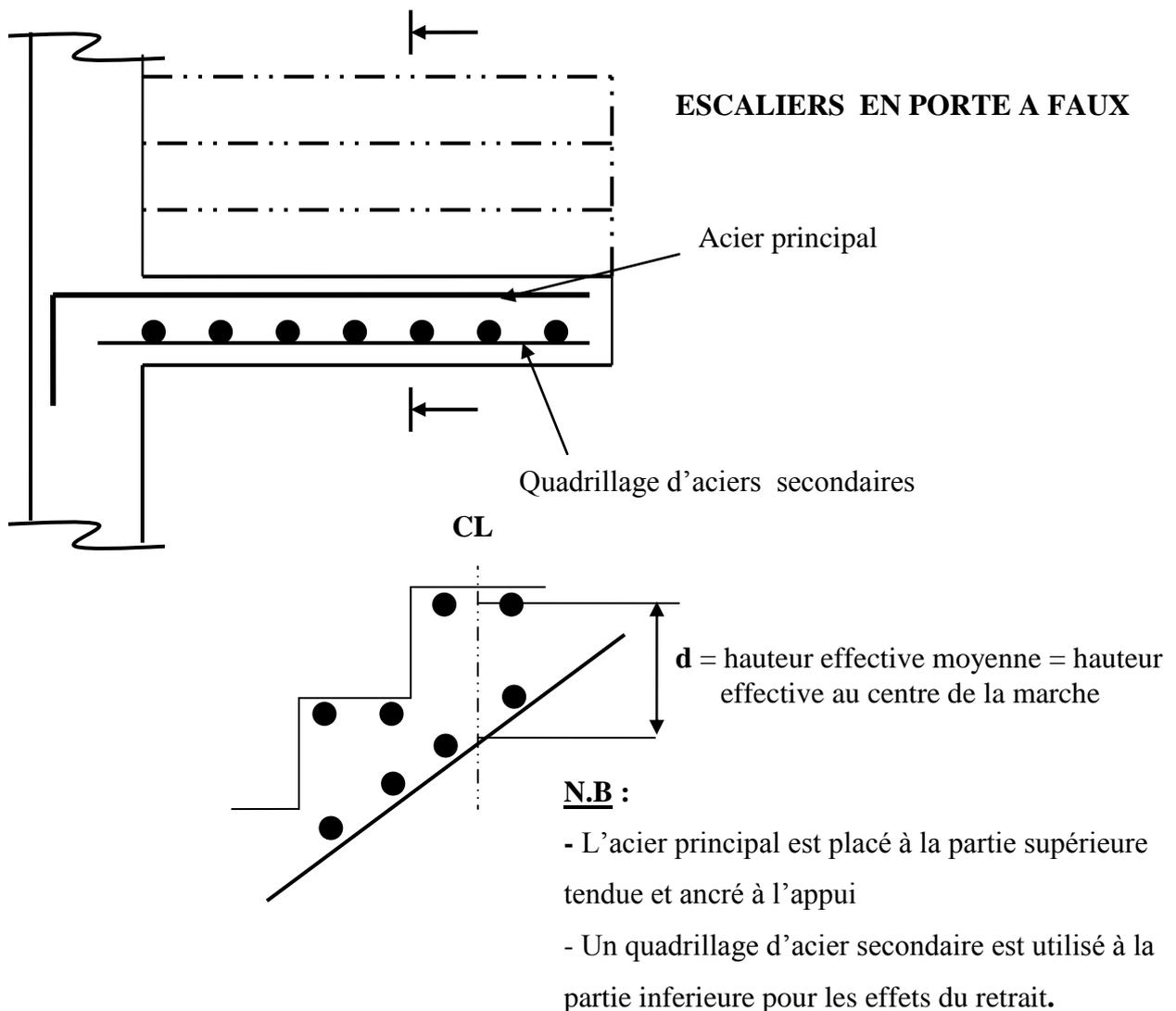




Figure : Exemple d'escaliers en porte à faux transversalement

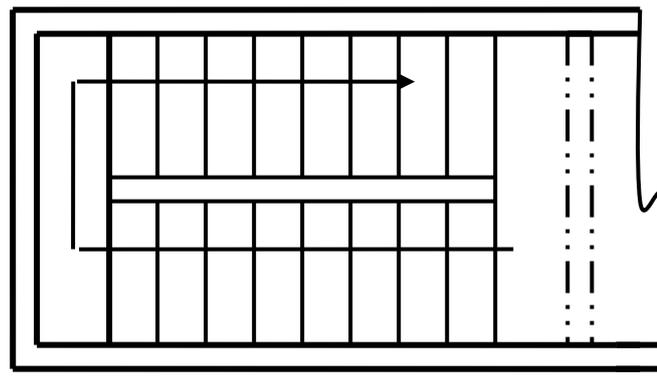
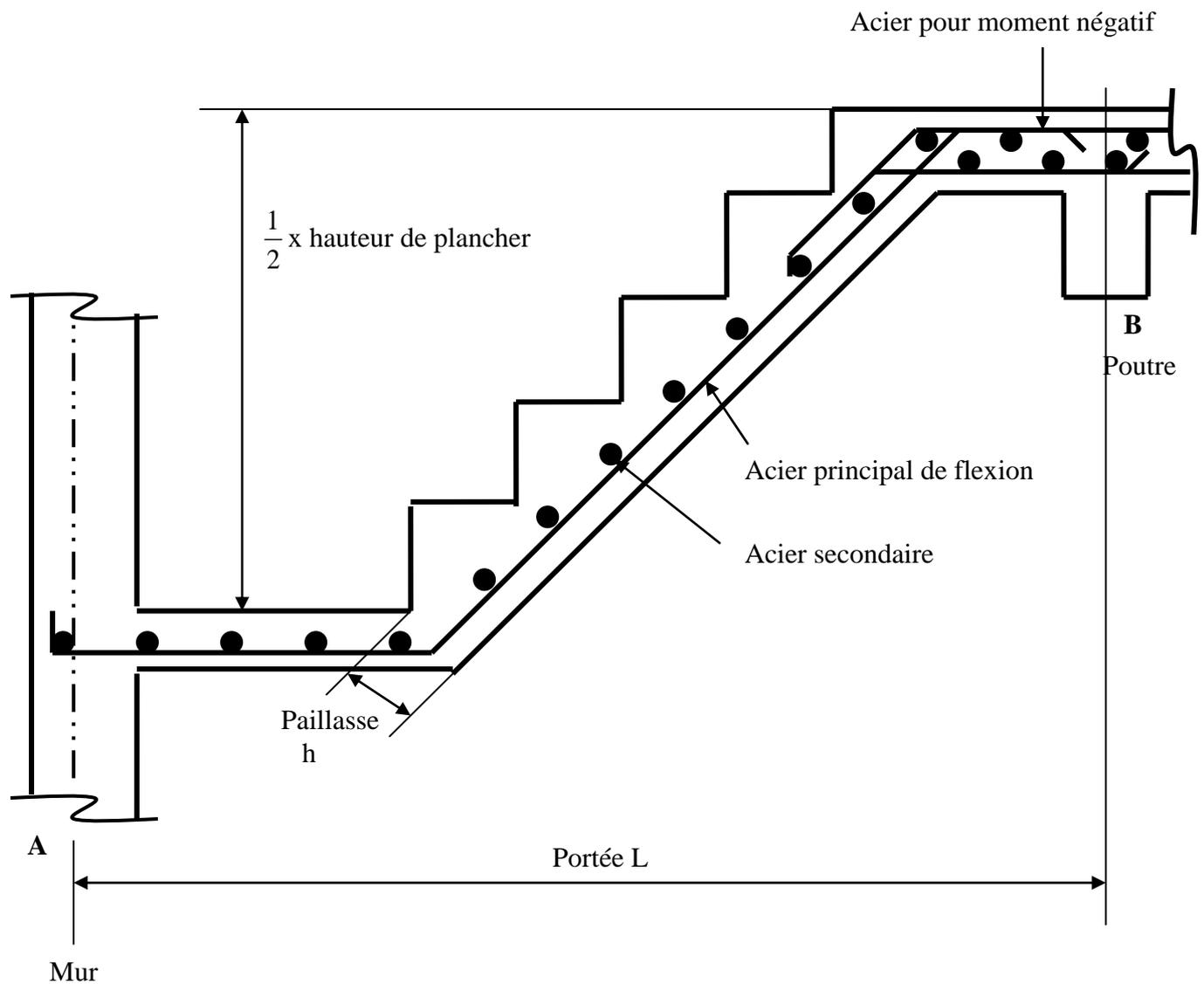
III. ESCALIERS PORTANT DANS LE SENS LONGITUDINAL

Les escaliers portant dans le sens longitudinal sont souvent considérés comme une *dalle en pente* portant sur un seul sens entre les appuis aux *extrémités supérieure et inférieure de la volée*. Les appuis peuvent être *des poutres, des murs* ou *des paliers-dalles* comme en figure ci-dessous.

La charge permanente est calculée le long de la *longueur en pente* des escaliers, comme illustré dans un exercice d'application, pendant que la charge d'exploitation est calculée en fonction de la *surface en plan*.

La charge d'exploitation doit être prise comme :

- 1- Pour des bâtiments de logements ne dépassant pas trois niveaux: $1,5 \text{ kN/m}^2$
- 2- Pour tous les autres bâtiments, la charges d'exploitation à considérer doit être la même que celle du plancher auquel les escaliers donnent accès, mais ne doit pas être moins de 3 kN/m^2 ni plus de 5 kN/m^2 .

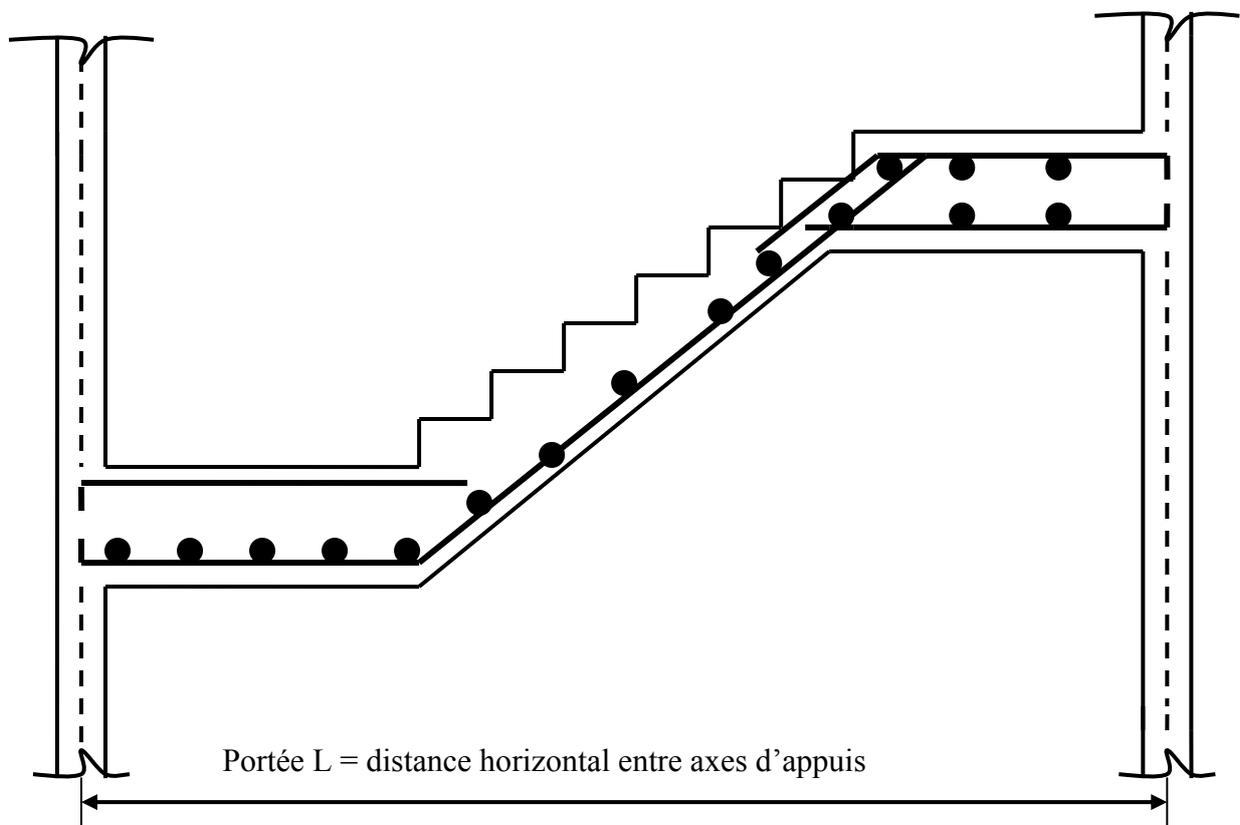
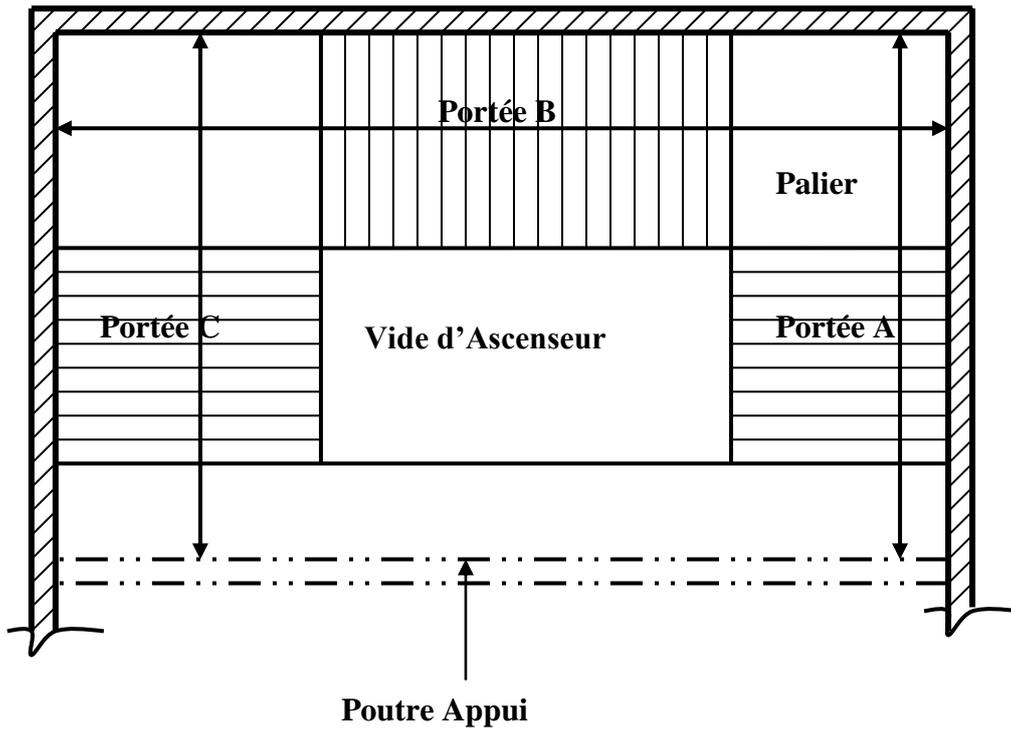


Vue en Plan

* Portée Effective L = distance entre axes des appuis mesurée horizontalement

* Epaisseur de la paillasse "h" est prise comme l'épaisseur de la dalle.

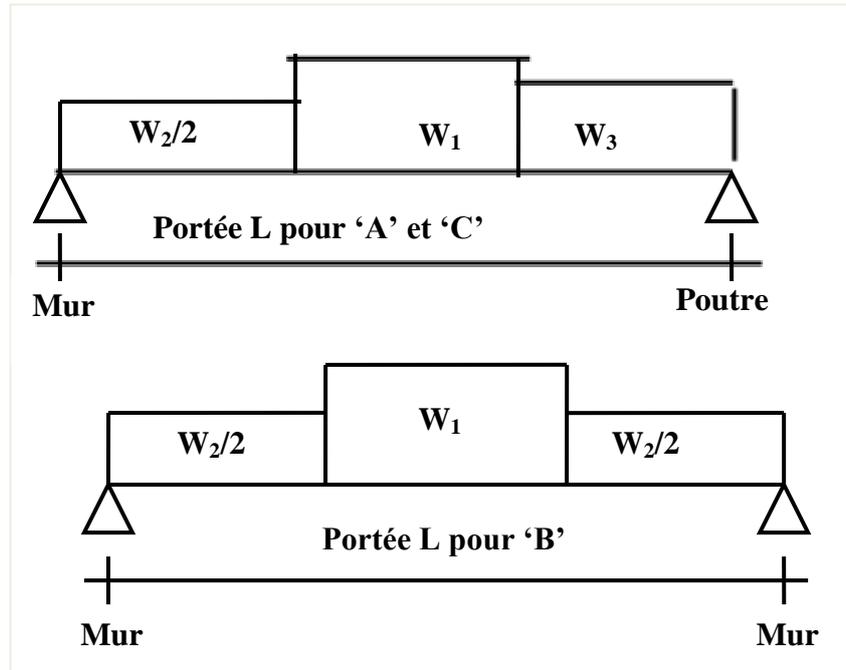
Escalier des portées A et C supporté par un mur et une poutre (voir figure en page 6)



Escalier de la portée B supporté par des murs

Note :

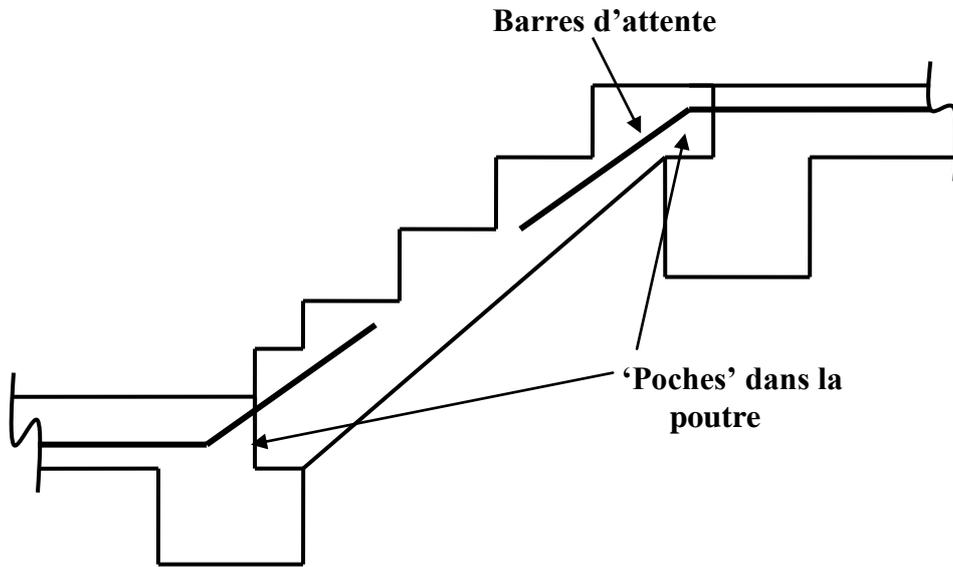
Les charges communes à deux portées qui se croisent à angle droits sont supposées être divisées à parts égales entre les deux portées, comme l'exemple du haut avec les portées A et C qui croisent la portée B à angle droit ; leur schéma de chargement est comme suit :

**Moments Fléchissant de Calcul : Méthode forfaitaire**

- Les escaliers qui sont continus et construits monolithiquement avec leurs appuis (poutres, murs ou dalles) peuvent être calculés pour un moment positif en travée de $FL/10$ et un moment négatif à l'appui (appui B dans le schéma précédent en page 5) de $FL/10$, où F est la charge totale de calcul agissant sur les escaliers.

- Dans le cas des escaliers préfabriqués ou des escaliers construits après la structure principale (pas de monolithisme), le moment de calcul en travée est $FL/8$ du fait qu'il n'y a pas suffisamment de liaison à l'extrémité.

Dans la pratique, des 'poches' sont laissés dans la poutre-appui pour accommoder les escaliers construits après la structure principale. Des barres d'attentes sont laissées à partir de la poutre-appui pour assurer une certaine liaison entre les escaliers et la poutre comme illustré par le schéma ci-dessous :



Effort Tranchant de calcul : -Appui de rive : $T = 0.4F$;

-Appui adjacent à l'appui de rive : $T = 0.6F$

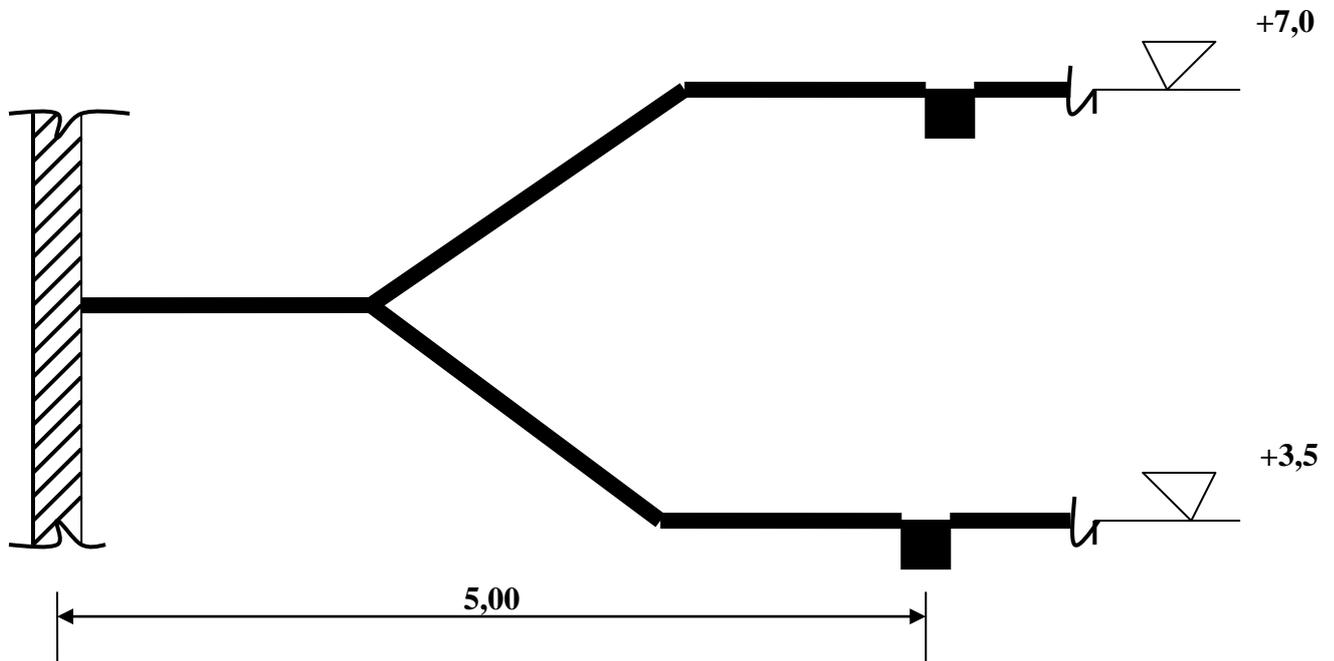
-Appui intérieur : $T = 0.5F$

Procédure de calcul :

La procédure de calcul est identique à celle des poutres et dalles. Pour les considérations de flèche, le rapport $(L/d)_{toléré}$ peut être augmenté de 15% pourvu que la volée des escaliers occupe au moins 60% de la portée. La volée étant une dalle en pente et donc inclinée, elle tend à réduire la flèche par comparaison à une dalle horizontale

Exemple de calcul d'escalier:

Calculer les escaliers du schéma ci-dessous si la charge d'exploitation est de 3kN/m^2 . Utiliser un béton de 30 MPa et des aciers en feE250.

***Dimensionnement de l'escalier :**

L'élévation de l'escalier est (voir schéma) $\frac{H}{2} = \frac{3500}{2} = 1750\text{ mm}$

Considérons une hauteur de marche (contre marche) $h = 160\text{ mm} \Rightarrow$ nombre de marches

d'escalier $n = \frac{1750}{160} = 10,937$; soit $k = 11$ marches d'escaliers

La hauteur h devient : $h' = 1750/11 = 159,09\text{ mm}$

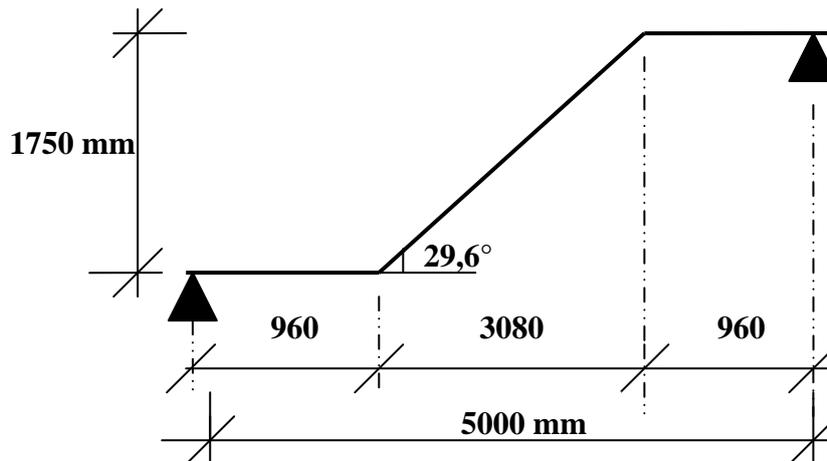
La hauteur corrigée $h' = 159,09\text{ mm}$ doit être *respectée* dans la réalisation pour ne pas arriver à une portion de contre-marche en haut de la volée.

Considérons des marches de $g = 280\text{ mm} \Rightarrow$ la longueur de la volée dans le plan est :

$L_{\text{volée}} = \text{nombre de marches} * g = k.g = 11 * 280 = 3080\text{ mm}$

\Rightarrow La longueur des deux paliers est : $5000 - 3080 = 1920\text{ mm}$.

Le schéma géométrique de l'escalier est :



Vérification des spécifications techniques imposées :

- * $h = 160 \text{ mm} < 190 \text{ mm}$
- * $g = 280 \geq 230 \text{ mm}$
- * $550 \text{ mm} < g + 2h = 280 + 160 \times 2 = 600 \text{ mm} < 700 \text{ mm}$
- * La pente de la volée = $29,6^\circ < 38^\circ$

Epaisseur de la paillasse:

- * L/d de base = 26 (élément supposé continu)

* Considérons un facteur de modification pour les aciers de traction de $R_s = 1,4$ (renforcement léger en acier feE250).

Pour un acier HA on considère $R_s = 1,2$ dans la phase prédimensionnement.

$$\Rightarrow L/d \text{ réel} \leq 26 \times 1,4 = 36,4 \Rightarrow d \geq L/36,4 = 5000/36,4 = 137$$

$$d \geq 137 \text{ mm}$$

$$h = d + \text{enrobage} + \phi/2$$

Considérons des barres de 16 mm de diamètre en acier doux et un enrobage de 25 mm

$$\Rightarrow h = d + \text{enrobage} + \phi/2 \geq 137 + 25 + 8 = 170 \text{ mm}$$

Utiliser une épaisseur $h = 175 \text{ mm}$, donnant une hauteur effective $d = 175 - 25 - 8 = 142 \text{ mm}$

On aurait pu utiliser la relation forfaitaire recommandée par le BAEL:

$$L/30 \leq h \leq L/20 \text{ pour une dalle portant sur un seul sens ;}$$

$$\text{donnant : } 166,6 \text{ mm} \leq h \leq 250 \text{ mm} \quad (h=175\text{mm rentre dans cet intervalle)}$$

$$\text{Longueur en pente des escaliers} = \sqrt{3080^2 + 1750^2} = 3542 \text{ mm}$$

Le poids des escaliers est calculé sur la longueur en pente.

***Charges agissant sur l'escalier :**

Considérons une bande d'escalier de largeur 1m :

$$\text{Poids de la paillasse + les marches: } \left[(0,175 \times 3,542 \times 1) + \left(\frac{0,28 \times 0,16 \times 1}{2} \times 1 \right) \right] \times 24 = 20,79 \text{ KN}$$

$$\text{Poids des paliers: } 0,175 \times 0,960 \times 1 \times 2 \times 24 = 8,064 \text{ KN}$$

Charge permanente totale = 28,85 kN par mètre de largeur

Charge d'exploitation Q = 3,0 x (5 x 1) = 15 kN par mètre de largeur

Charge totale de calcul:

$$\begin{aligned} F &= 1,35G + 1,5Q \\ &= 1,35 (28,85) + 1,5 (15) \\ &= 61,45 \text{ kN par mètre de largeur} \end{aligned}$$

*** Moment Fléchissant:** On suppose que les escaliers sont construits monolithiquement avec les appuis.

Acier principal de traction

$$\text{- En travée: } M = \frac{FL}{10} = \frac{61,45 \times 5}{10} = 30,73 \text{ kN.m}$$

$$\text{- A l'appui (en haut de la poutre appui): } M = -\frac{FL}{10} = -\frac{61,45 \times 5}{10} = -30,73 \text{ kN.m}$$

Aciers principal de Renforcement longitudinal: $M_u = 30,73 \text{ KN.m}$

$$\alpha = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}} \right) \quad \text{Avec} \quad \mu_{bu} = \frac{M}{f_{bu} \cdot b \cdot d^2} = \frac{30,73 \times 10^6}{17 \times 1000 \times 142^2} = 0,093$$

$$\alpha = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,093} \right) = 0,12$$

$$z = d(1 - 0,4 \times 0,12) = 0,952d > 0,9d \text{ prendre } z = 0,9d = 0,9 \times 142 = 127,8 \text{ mm}$$

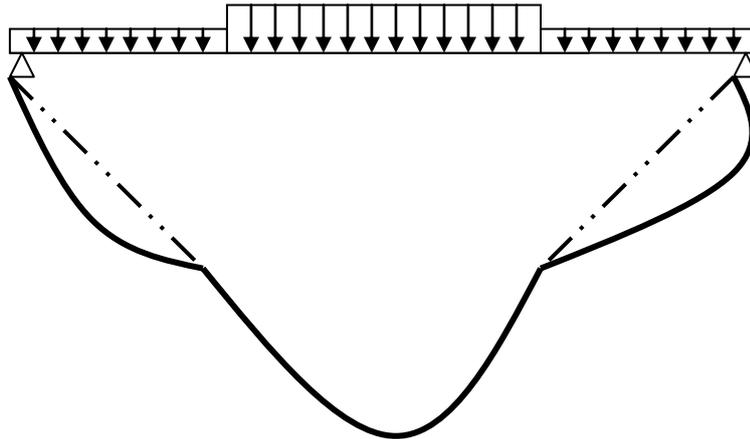
Il s'agit du pivot A : $\varepsilon_s = 10 \text{ }^\circ$ et donc $f_s = f_e / \gamma_s = 250 / 1,15 = 0,87 \cdot 250 \text{ MPa}$

$$A_s = \frac{30,73 \times 10^6}{0,87 \times 250 \times 127,8} = 1105,53 \text{ mm}^2 / \text{m de largeur}$$

Utiliser R16 à 175 mm donnant 1150 mm² / m de largeur en travée et à l'appui (au-dessus de la poutre) du fait que le moment est le même.

Note:

Dans le cas où le chargement est différent entre les paliers et la volée (par exemple à cause d'un partage de la charge du palier entre deux portées A et B ou autre), faire le diagramme des moments correspondant au chargement obtenu.

**Acier secondaire:**

$$0,12 \% bh = \frac{0,12 \times 1000 \times 175}{100} = 210 \text{ mm}^2 / \text{m de largeur (Quantité minimale recommandée)}.$$

Utiliser R10 espacés à 200 mm, donnant une section de : $393 \text{ mm}^2 / \text{m de largeur}$

L'espacement $S = 200 \text{ mm} < \min(4h; 450) \text{ mm}$

*** Effort tranchant:**

L'effort tranchant maximum est au niveau de l'appui adjacent à l'appui de rive

$$T = 0,6F = 0,6 \times 61,45 = 36,87 \text{ kN}$$

$$\tau = \frac{36,87 \times 10^3}{1000 \times 142} = 0,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_c = 0,05f_{c28} = 0,05 \times 30 = 1,5 \text{ N/mm}^2$$

L'escalier n'a pas besoin d'acier transversal pour résister à d'effort tranchant, le béton à lui seul suffit pour reprendre cet effort.

*** Vérification de la flèche:**

$$\frac{M}{bd^2} = \frac{30,73 \times 10^6}{1000 \times 142^2} = 1,57 \text{ N/mm}^2$$

$$f_s = \frac{5}{8} 250 \frac{1105,53}{1150} = 150,3 \text{ N/mm}^2$$

$$R_s = 0,55 + \frac{477 - 150,3}{120(0,9 + 1,57)} = 1,65 > 1,4 \text{ supposé au stade de prédimensionnement}$$

$$(L/d)_{\text{toléré}} = 26 \times 1,65 \times 1,15 = 49,3$$

$$(L/d)_{\text{réel}} = \frac{5000}{142} = 35$$

La dalle d'escalier n'aura pas de problème de flèche

Note: Une augmentation de 15% est adoptée pour la valeur tolérée du rapport L/d du fait que

la volée occupe $\left(\frac{3080}{5000} = 0,616\right) = 61,6 \%$ de la portée totale, donc supérieur à 60%.

***Schéma de Ferrailage**

