

Les escaliers

Introduction

Domaine d'application

Le présent cours s'intéresse à la conception, au dimensionnement et à la réalisation des escaliers destinés à être disposés tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments. Les développements qui y sont contenus consistent en des règles communes applicables à tous les types de bâtiments.

Dispositions communes

Quel que soit le matériau utilisé, la géométrie choisie et l'ouvrage dans lequel il est incorporé, un escalier doit respecter un certain nombre d'exigences et obéir à quelques règles communes. De plus, un vocabulaire particulier est utilisé dans ce domaine. L'objet de ce chapitre est de présenter les diverses fonctions attendues d'un escalier ainsi que la terminologie pratiquée en la matière.

FONCTIONS D'UN ESCALIER

Les différentes fonctions attendues d'un escalier sont les suivantes :

- desservir les différents niveaux qu'il relie, en toute sécurité, cette notion de sécurité étant rattachée essentiellement aux aspects de confort d'utilisation, stabilité de la cadence de marche, protections latérales, etc.
- être capable de supporter les charges qui lui seront appliquées en cours d'utilisation, ces charges présentant un caractère dynamique prononcé en raison des possibilités de saut sur les marches (résistance mécanique)
- résister aux diverses contraintes (climat, usure, etc.) auxquelles il peut être soumis lors de son usage (durabilité);
- quelquefois, contribuer à décorer l'espace dans lequel il est implanté.

DEFINITIONS

En matière d'escalier, l'usage d'un vocabulaire spécifique relatif aux divers composants rend nécessaire la définition préalable des différents termes utilisés. Dans ce qui suit sont rassemblées les principales définitions permettant de comprendre convenablement les développements ultérieurs.

Escalier:

élément d'ouvrage permettant de passer à pied d'un étage de bâtiment à un autre. L'escalier est composé d'une succession régulière de plans horizontaux consistant en des marches et des paliers.

• **Emmarchement** : largeur praticable de l'escalier qui correspond en général à la grande dimension de la marche (dimension perpendiculaire au sens du déplacement dans l'escalier).

• **Hauteur de marche** : distance verticale séparant le dessus de deux marches successives. Cette hauteur varie généralement entre 16 et 21 cm. Sa détermination relève de considérations relatives à l'ergonomie et au confort d'utilisation de l'escalier, considérations qui seront détaillées dans la suite du présent guide.

• **Giron** : distance horizontale mesurée entre les nez de deux marches successives. Le giron varie généralement entre 25 et 32 cm pour un escalier intérieur et peut aller au-delà pour un escalier extérieur. Le giron et la hauteur de marche sont reliés par une équation (formule de Blondel, vue plus loin) permettant une bonne praticabilité de l'escalier.

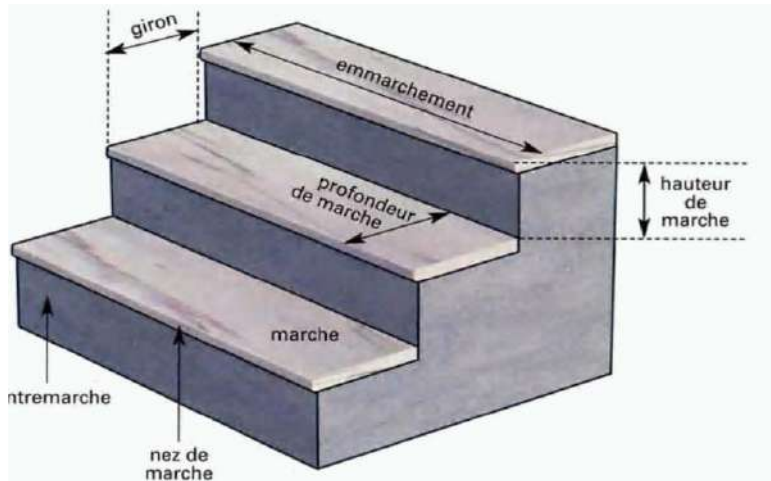


Figure 6.1 : Constituants d'un escalier

- **Profondeur de marche :** distance horizontale entre le nez de marche et la contremarche (correspond au giron auquel on rajoute le débord du nez de marche). Cette dimension est parallèle au sens du déplacement dans l'escalier.
- **Marche :** surface plane de l'escalier sur laquelle le pied se pose pour utiliser l'escalier.
- **Contremarche :** face verticale reliant, quand elle existe, deux marches successives.
- **Nez de marche :** bord extérieur de la marche, en débord ou non par rapport à la contremarche lorsque celle-ci existe. Lorsqu'il est prévu un débord en nez de marche, il ne doit pas dépasser 10 mm, afin d'éviter l'accroche du talon en descente.
- **Palier :** plan horizontal plus large que les marches courantes. Deux paliers consécutifs délimitent une volée d'escalier. Si le palier est au même niveau qu'un étage courant du bâtiment, on parle de palier d'arrivée (ou palier de départ). Sinon, il s'agit d'un palier intermédiaire (Ou palier de repos).
- **Volée :** ensemble de marches successives, compris entre deux paliers (quelle que Soit la nature du palier).
- **Ligne de foulée :** ligne théorique représentant le parcours usuel lorsque l'on emprunte l'escalier. Le tracé de cette ligne répond à des critères géométriques vus plus loin dans le présent guide.

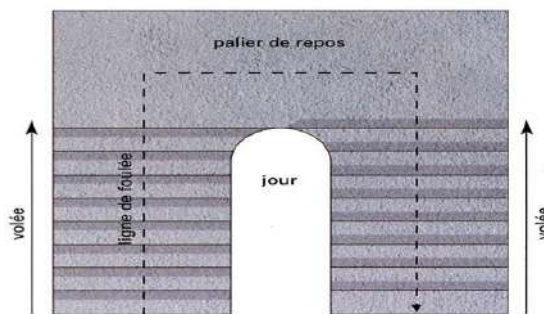


Figure 6.2 : Vue en plan d'une cage d'escalier

- **Jour d'escalier :** espace central de l'escalier, lorsqu'il est prévu (les deux volées peuvent être accolées. Dans ce cas, il n'y a pas de jour).
- **Mur d'échiffre :** mur parallèle (ou sensiblement parallèle) à la ligne de foulée sur lequel s'appuient les marches lorsque l'escalier est soutenu latéralement. Il est possible d'avoir un ou deux murs d'échiffre.

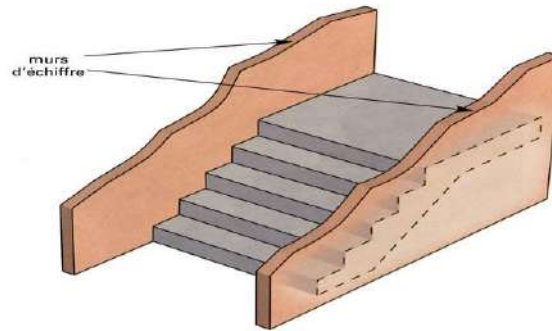


Figure 6.3 : Volée entre deux murs d'échiffre

- **Echappée :** désigne la hauteur libre la plus faible calculée entre le dessus des marches et la sous-face du plancher supérieur.
- **Dénivelée :** hauteur de franchissement de l'escalier. Dans un bâtiment, c'est la hauteur comptée de plancher à plancher, revêtements compris.
- **Reculément :** il s'agit de l'encombrement de l'escalier dans le sens de la longueur (le reculement est la projection verticale de la longueur de l'escalier).
- **Trémie d'escalier :** ouverture ménagée dans le plancher pour permettre le passage de l'escalier.
- **Cage d'escalier** désigne le volume dans lequel l'escalier est situé, volume généralement délimité par les murs entourant l'escalier.

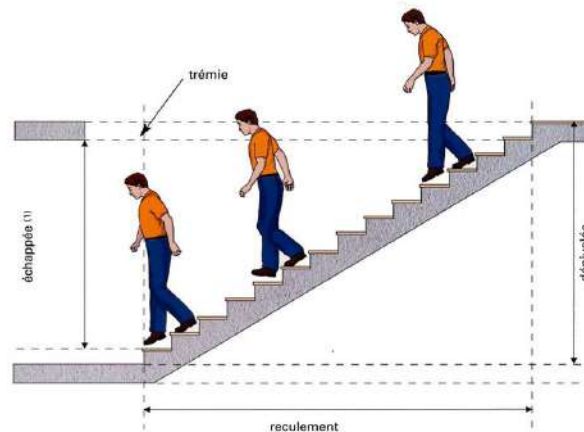


Figure 6.4 : Vue en coupe d'une cage d'escalier

6.4. DIFFERENTS TYPES D'ESCALIER

Ce paragraphe présente les différentes formes d'escaliers qui sont utilisés dans la pratique. Néanmoins, d'autres formes peuvent être adoptées, en fonction de l'espace disponible, des positions et dimensions des trémies et des choix architecturaux.

6.4.1. Les escaliers courants

Ils peuvent être réalisés indifféremment en bois, en béton ou en métal.

- Escaliers à volée droite (**Figure 6.6** (a, b, c))

L'escalier droit Il est constitué d'une volée droite.

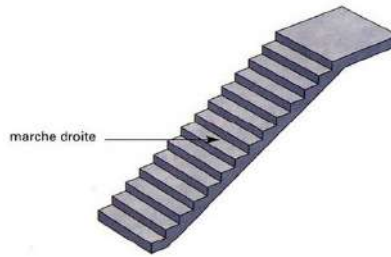


Figure 6.5 : Escalier droit

L'escalier à volées droites avec paliers intermédiaires Constitué de plusieurs volées droites, il comporte, dans son parcours, un ou plusieurs paliers intermédiaires.

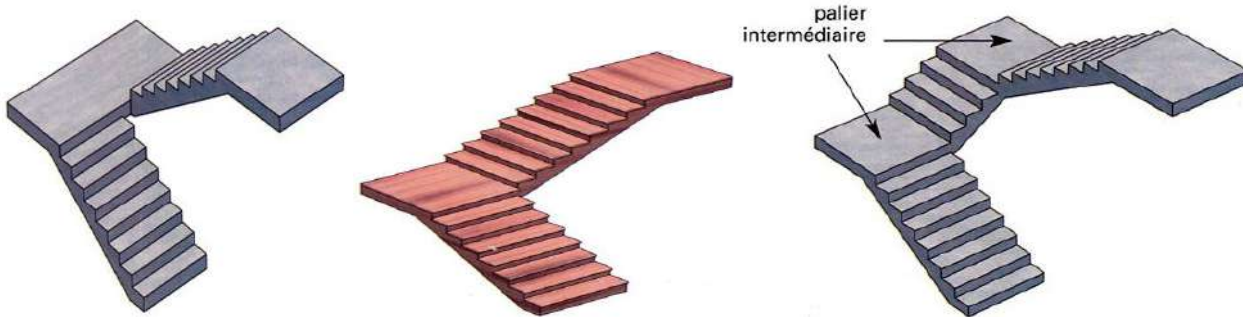
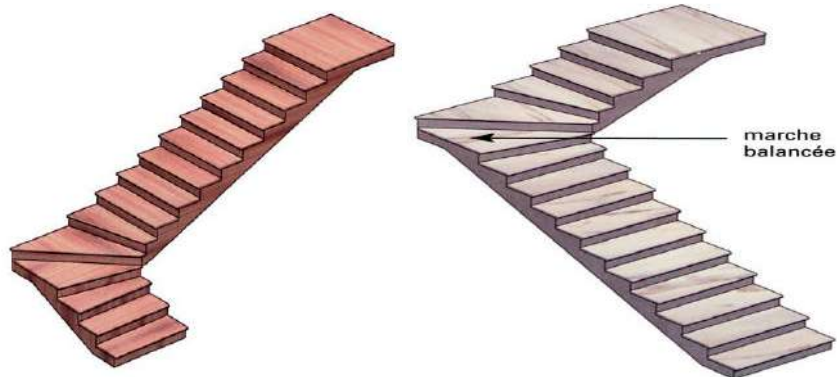


Figure 6.6 : Escaliers à volées droites avec paliers intermédiaires (a, b, c)

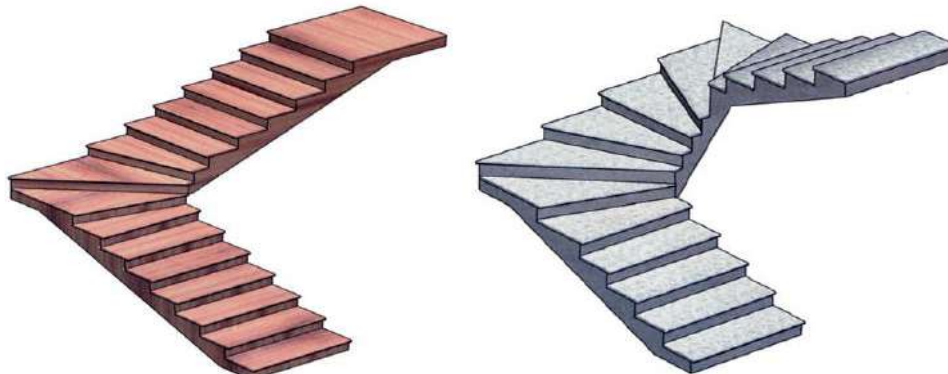
• **Escaliers balancés (Figure 6.7 (a, c, d, e))**

Escalier à changement de direction sans palier intermédiaire, les changements de direction sont assurés par des marches dites « balancées ». La position du balancement conduit aux appellations « quartier tournant bas », « quartier tournant haut », « quartier tournant médian », « double quartier tournant ».



a- Escalier à quartier tournant bas

b- Escalier à quartier tournant haut



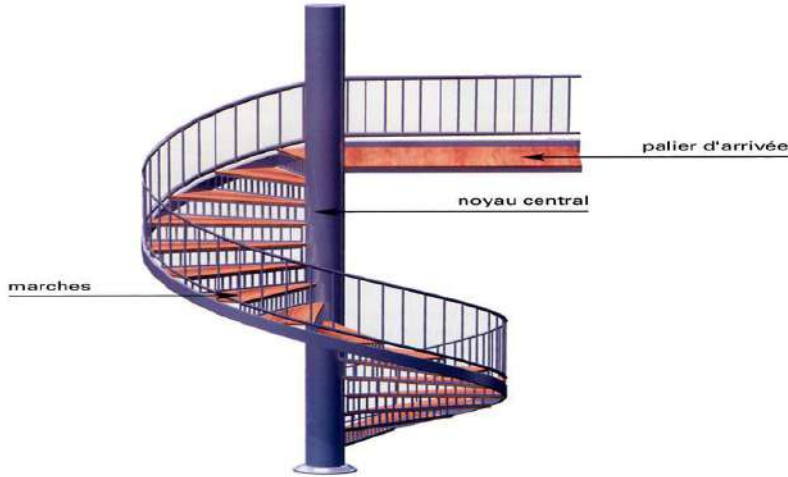
c- Escalier à quartier tournant médian

d- Escalier balancé à double quartier tournant

Figure 6.7 : Escaliers balancés (a, c, d, e)

- Escalier hélicoïdal (Figure 6.8)

Appelé également escalier en colimaçon ou en spirale, c'est un escalier tournant dont les marches rayonnent autour d'un pilier central, le plus souvent de forme cylindrique.



6.4.2. Les échelles

Dans certains cas, et notamment en raison de l'exiguïté de l'espace disponible, il peut se révéler impossible de concevoir un escalier répondant en tous points aux principes de confort et de sécurité préconisés.

On est alors conduit à opter pour des moyens d'accès particuliers, qui se révèlent moins sûrs qu'un escalier traditionnel, conçu en conformité avec les règles décrites dans les chapitres suivants.

Ces moyens s'apparentent plus à des échelles qu'à des escaliers. Néanmoins, l'usage les a consacrés comme se substituant à des escaliers et c'est à ce titre que nous avons choisi d'en parler ici.

On distingue trois types principaux :

- l'échelle de meunier ;
- l'échelle à pas décalés ;
- l'échelle escamotable.

À noter que l'on donne parfois le nom d'escalier à ces éléments.

• L'échelle de meunier (Figure 6.9)

De conception très simple, il s'agit de marches liées à deux limons situés en extrémités d'embranchement. Il est conseillé de prévoir un garde-corps pour éviter les chutes dans le vide, et surtout pour pouvoir se maintenir à la rampe en montée et en descente. La pente d'un tel dispositif est de l'ordre de 45° , ce qui dépasse d'environ 30 % celle d'un escalier classique.

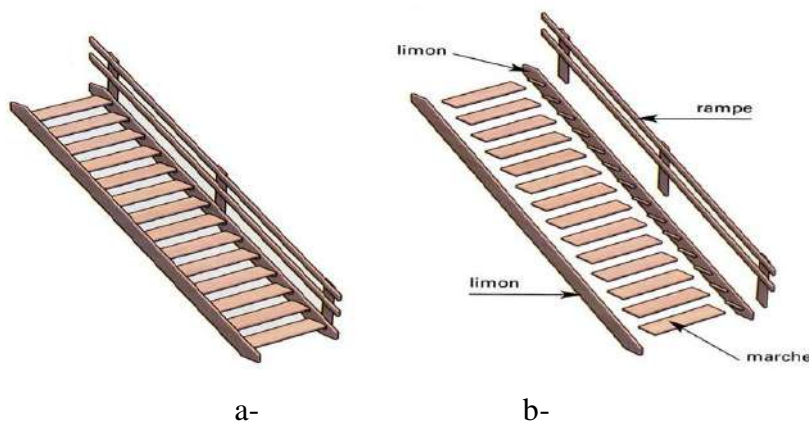


Figure 6.9 : L'échelle de meunier (a, b)

- L'échelle à pas décalés (Figure 6.10)

Elle est encore plus raide que l'échelle de meunier (environ 60°). Ceci est dû à la découpe particulière des marches qui élimine le recouvrement de manière alternée.

L'attention doit être apportée au pied d'attaque de cette échelle, puisqu'il ne peut être pratiqué que selon un seul cheminement.

L'avantage de ce dispositif est de réduire le reculement de l'escalier au minimum. Il se révèle particulièrement adapté aux trémies à dimensions limitées.

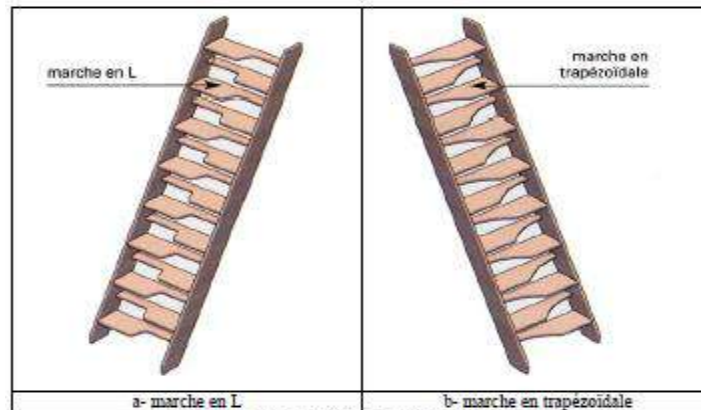


Figure 6.10 : L'échelle à pas décalés

- L'échelle escamotable (Figure 6.11)

Elle est constituée de trois ou quatre éléments **qui** se replient dans un caisson et se loge au plafond. Cette échelle est principalement utilisée pour accéder sous la toiture. Elle est à peine plus confortable d'accès qu'une échelle à proprement parler et ne peut vraiment pas, contrairement aux deux précédentes, être comparée ou assimilée à un escalier.



Figure 6.11 : L'échelle escamotable

6.3. DIMENSIONS ET PROPORTIONS

Ce chapitre se réfère essentiellement à la norme XP P 21-211, mais il inclut également des règles consacrées par l'usage qui ne sont pas strictement calées sur les minima donnés dans ce texte.

6.3.1. Proportion entre giron et hauteur de marche

Il a été remarqué depuis longtemps que le confort d'utilisation d'un escalier était lié à une relation entre le giron et la hauteur de marches.

Selon Nicolas-François Blondel, architecte français du XVIIe siècle : *La longueur des pas d'une personne qui marche de niveau est communément de deux pieds et la hauteur du pas de celle qui monte à plomb n'est que d'un pied* ».

Si g est la distance horizontale entre deux nez de marche successifs, et h la hauteur de la marche, la relation linéaire suivante, dite « formule de Blondel », vérifie la constatation empirique suivante (donnée dans la norme XP P 21-211):

$$0,58\text{m} \leq g+2h \leq 0,64\text{m}.$$

Dans cette relation, le pied chaussé est supposé mesurer entre 28 et 32 cm de longueur.

La norme citée autorise des hauteurs de marches allant jusqu'à 21 cm. Aucune condition n'y est donnée quant à la dimension minimale du giron.

1 pied = 30,48 cm

6.3.2. Détermination de l'échappée

La norme XP P 21-211 indique, à l'article 5.1.4 : « L'échappée, mesurée sur la ligne de foulée, est d'au **moins 1,90 m**, néanmoins la valeur de 2,10 est recommandée. »

Cette norme n'indique pas si l'échappée se mesure à la verticale ou bien par un rayon dont le centre se trouverait sur le nez de marche le plus proche du bord de la trémie.

En effet, lors de la descente, le corps est légèrement penché en avant et l'échappée risque de se révéler un peu juste lorsqu'elle est mesurée à la verticale.

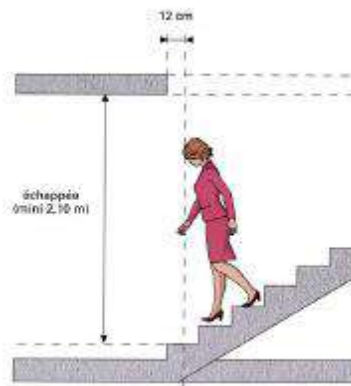


Figure 6.12 : Détermination de l'échappée

Observation

L'auteur recommande le mode de calcul suivant : on mesure l'échappée à la verticale, mais à une distance de 12 cm du bord de trémie vers le sens ascendant de l'escalier. De plus, il est fortement conseillé de ne pas descendre au-dessous d'une valeur de 2,10m, l'expérience ayant montré qu'une valeur plus faible était dangereuse (bien que la norme accepte jusqu'à 1,90 m).

6.3.3. Exemples de calcul de dimensions

Étage à monter de plancher à plancher: 2,90

o Hauteur sous plafond : 2,60 m (épaisseur du plancher revêtu : 30 cm)

o Calcul du nombre de marches : $nm = 290/18 = 16,11$.

o On retient donc $n = 17$ marches dont la hauteur sera : $h = 290/17 = 17,06$ cm.

Observation

Il serait plus exact de dire qu'il y a 17 contremarches, car la dernière marche sera au même niveau que le palier d'arrivée, ce n'est donc pas à proprement parler une marche comme les autres puisqu'elle est en continuité de ce palier. La formule de Blondel nous impose $0,58 \text{ m} \leq g + 2 h \leq 0,64 \text{ m}$, soit

$$23,88 \text{ cm} \leq g \leq 29,88 \text{ cm}$$

L'exemple qui suit montre le maniement de cette notion.

Reprenons l'exemple précédent et calculons la longueur minimale de la trémie si on retient une valeur de 26 cm pour la largeur de marche.

On aura une longueur développée totale de l'escalier de $26 \times 16 = 416$ cm.

Si on retient une échappée de 2,20 m, la hauteur à parcourir pour échapper sera de :

$2,60 \text{ m} - 2,20 \text{ m} = 0,40 \text{ m}$, ce qui fait moins de trois hauteurs de marches.

En considérant deux hauteurs de marches (la partie entière de la division précédente), on devra prévoir donc une trémie égale à la longueur développée de l'escalier moins une largeur de marche, soit $416 - 26 = 390$ cm

Les calculs qui précèdent, illustrés ci-dessous, montrent les précautions à observer pour respecter les multiples conditions de praticabilité des escaliers.

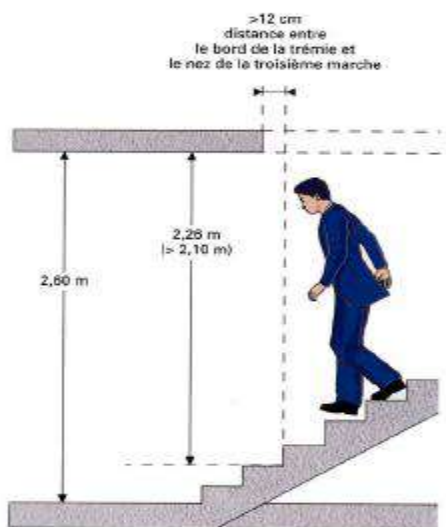


Figure 6.13 : Illustration de l'exemple donné pour le calcul de l'échappée

6.3.4. Cas des escaliers balancés ou hélicoïdaux

Dans le cas des escaliers balancés ou hélicoïdaux, la même formule Blondel, vue auparavant, s'applique avec une condition supplémentaire : la ligne de foulée est prise à une distance de 50 cm des murs extérieurs, et c'est le long de la ligne de foulée que les relations précédentes donnant les dimensions des marches s'appliquent.

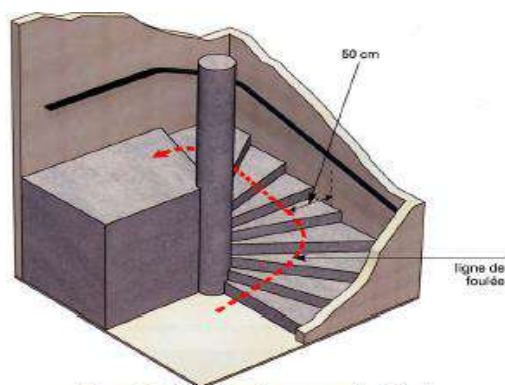


Figure 6.14 : Ligne de foulée pour un escalier balancé

Spécifiquement pour les marches balancées, il convient que la largeur du côté extérieur (le plus large) des marches n'excède pas 42 cm. En effet, des marches trop larges conduisent à des cadences qui ne correspondent pas au pas naturel et peuvent faire trébucher.

Attention

Une chose importante à respecter : la largeur du giron doit rester constante sur la ligne de foulée.

6.3.5. Palier séparant deux volées

Dans le cas d'un palier séparant deux volées, le confort de marche doit être assuré en considérant que le pas sur l'horizontale est d'environ $2g$, soit approximativement 62 à 64cm. La dimension du palier intermédiaire doit donc tenir compte de cet aspect, sinon l'escalier est inconfortable, voire périlleux, puisque la cadence de marche est brisée.

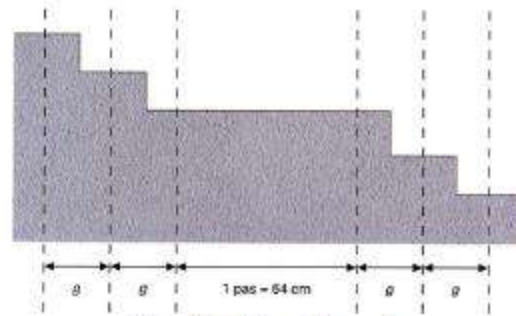


Figure 6.15 : Palier entre deux volées

6.4. SYSTEMES D'APPUI DES MARCHES

Parmi les composants d'un ouvrage de construction, l'escalier pose quelquefois à l'ingénieur de structures de délicats problèmes liés aux systèmes d'appui et de reports de charges. En effet, en dehors des escaliers droits pour lesquels les schémas constructifs conduisent à des sollicitations simples de type flexion, tout balancement ou vrillage de marches conduit au développement de sollicitations de torsion dont il faut analyser les cisaillements induits. De plus. Les marches peuvent être dissociées de l'ossature globale de l'escalier ou en faire partie intégrante.

Observation

En raison de ces aspects particuliers, il est nécessaire de distinguer le système d'appui des marches d-e celui de l'escalier vu globalement.

6.4.1. Marches sur pailleasse

C'est le cas le plus simple où les marches font partie intégrante d'une dalle inclinée (la pailleasse) formant volée et portant elle-même sur des poutres palières ou des murs d'échiffre. Il n'y a pas, à proprement parler, de marche individuelle, le système porteur recevant les charges directement sur cette dalle.

Il est relativement simple de décider de l'emplacement des poutres supports de pailleasse, la règle étant de s'accommoder de la manière dont la poutraison de plancher a été conçue. Le plus naturel est de les disposer en extrémités de palier (Figure 6.17).

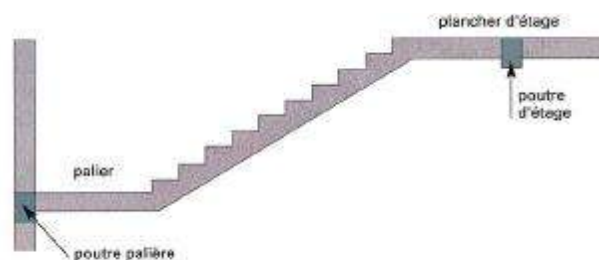


Figure 6.17 : Poutres supports disposés en extrémités de palier

On peut également les disposer en fin de volée (Figure 6.18),

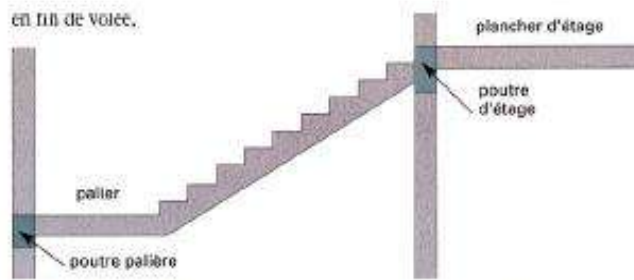


Figure 6.18 : Poutres supports disposé en fin de volée

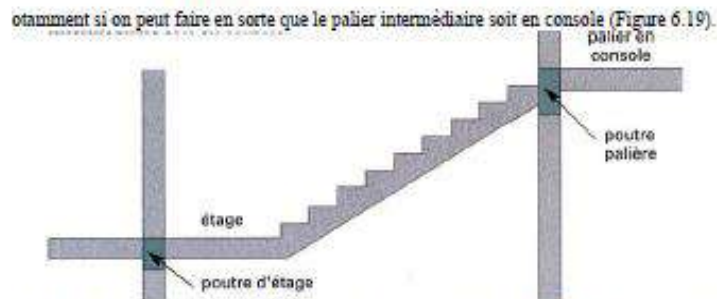


Figure 6.19 : Poutres supports disposé en sorte que le palier intermédiaire soit en console

Ce principe de construction se rencontre surtout dans les escaliers en béton, où la paillasse est en fait une dalle inclinée.

6.4.2. Marches sur limons ou crémaillères de bord

Dans ce cas, les marches supportent les charges apportées par l'utilisation des escaliers (poids des personnes, notamment), et les reportent sur les limons ou crémaillères. C'est le cas le plus fréquemment rencontré pour les escaliers en bois ou en métal. Par analogie aux planchers, les schémas statiques correspondants font que les marches se comportent comme des solives et les limons ou crémaillère comme des poutres porteuses principales (**Figure 6.20**)

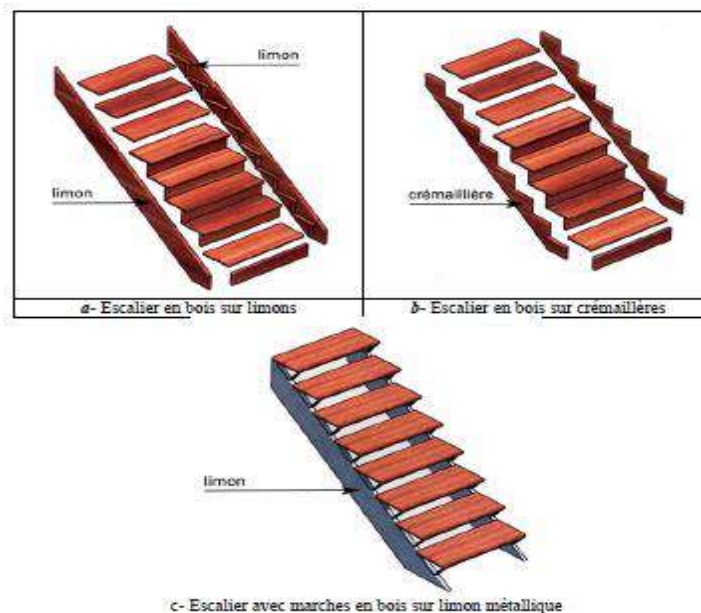


Figure 6.20 : Appuis de marches sur limons ou crémaillères de bord

6.4.3. Marches sur limon ou crémaillère central(e)

Ce cas se rencontre le plus fréquemment pour des escaliers en métal ou en béton. Pour ce type de configuration, il faut garder à l'esprit que les marches créent des torsions sur le support central, torsions dont il faut nécessairement tenir compte dans l'analyse structurale.

Pour ce qui concerne la marche elle-même, elle fonctionne en double-console et les systèmes de fixation à la crémaillère ou au limon doivent tenir compte de ce type de sollicitations.

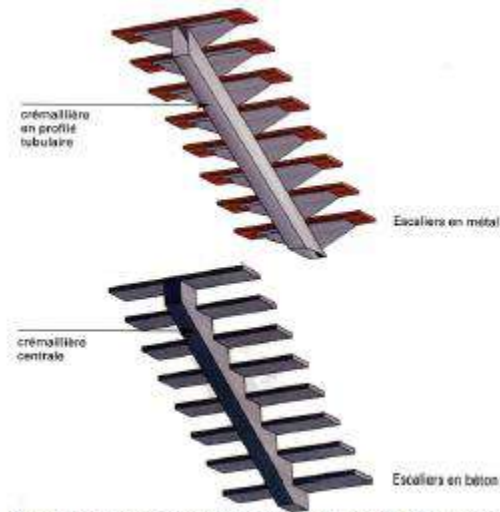


Figure 6.21 : Appuis de marches sur limons ou crémaillère centrale

6.4.4. Marches en console

Pour ce qui concerne les escaliers classiques en béton ou en maçonnerie, ce cas se rencontre actuellement assez rarement (bien qu'existant depuis l'Antiquité), car il est nécessaire de disposer de murs décaiffre épais, capables d'équilibrer les flexions induites localement par les marches (Figure 6.22).



Figure 6.22 : Marches en console sur mur

La mise en œuvre de ce type d'escalier nécessite des empochements dans le mur d'encastrement, puis la réalisation d'une assise de blocage en mortier de scellement.

La profondeur de pénétration de la marche doit être suffisante pour assurer le blocage (en pratique pour un emmarchement de 1 mètre, une longueur de scellement de 20 cm se révèle suffisante).

Actuellement, on rencontre les marches en console surtout dans les escaliers hélicoïdaux en béton ou en métal (Figure 6.23).



Figure 6.23 : Marches en console pour escalier hélicoïdal

6.4.5. Systèmes d'appui des volées

Comme cela a été vu précédemment, les volées s'appuient le plus fréquemment sur des poutres, celles-ci pouvant être spécifiques à l'escalier ou faire partie de la poutraison du plancher, selon le niveau considéré.

D'un point de vue structural, les volées sont elles-mêmes constituées

- soit d'une paillasse,
- soit de limons,
- soit de crémaillères.

Ce qu'il convient de retenir, c'est que les volées assurent le maintien structural dans le sens longitudinal de l'escalier (sens de la marche), alors que les marches assurent le maintien structural dans le sens transversal.

Une exception, toutefois, à ce principe général de fonctionnement se rencontre dans le cas de la paillasse, où les marches n'ont pas à proprement parler de rôle structural, leur seule fonction étant de présenter une succession de plans horizontaux permettant la praticabilité de l'escalier

6.4.6. Cas d'appui sur murs déchiffre

Dans le cas où il est possible de disposer de murs déchiffre, le principe d'appui des volées se simplifie puisque l'on dispose d'appuis continus disponibles tout au long de la volée.

Le plus naturel est de lier latéralement la volée aux murs et cela confère une rigidité largement suffisante.

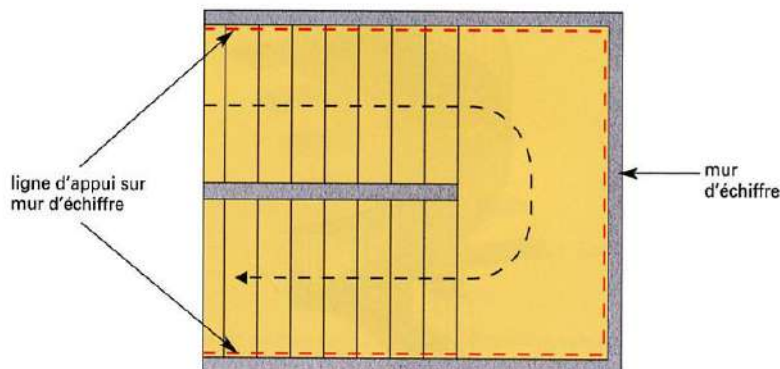


Figure 6.24 : Appuis de volées et paliers sur murs déchiffre

*** Dimensions des escaliers :**

D'après la formule de BLONDEL, on a : $0.59 < g + 2h < 0.66$

$g + 2h = 0.59$:corresponds à des escaliers courants d'appartement

$g + 2h = 0.66$:corresponds à des locaux publics.

Généralement ; on utilise : $g + 2h = 0.64m = 64cm$ avec : $g=30cm ; h=17cm$.

***Epaisseur des escaliers:**

$$\frac{L}{30} \leq e \leq \frac{L}{20}$$

EVALUATION DES CHARGES ET SURCHARGES

Palier :

➤ **Charge permanente**

- Carrelage (2cm) $22 \times 0,02 = 0,44 \text{ kN/m}^2$

- Mortier de pose (2cm)..... $20 \times 0,02 = 0,40 \text{ kN/m}^2$

- Lit de sable $18 \times 0,02 = 0,36 \text{ kN/m}^2$

- Poids propre du palier $25 \times 0,2 = 5 \text{ kN/m}^2$

- Enduit de ciment $18 \times 0,02 = 0,36 \text{ kN/m}^2$

$$G = 6,56 \text{ kN/m}^2$$

➤ **Surcharge d'exploitation**

$$Q = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Paillasse :

➤ **Charge permanente**

- Poids propre de la paillasse $25 \times 0,20 / \cos \alpha = 5,92 \text{ kN/m}^2$

- Poids propre de la marche $25 \times 0,17 / 2 = 2,13 \text{ kN/m}^2$

- Carrelage (2cm) $22 \times 0,02 = 0,44 \text{ kN/m}^2$

- Mortier de pose (2cm)..... $20 \times 0,02 = 0,40 \text{ kN/m}^2$

- Lit de sable $18 \times 0,02 = 0,36 \text{ kN/m}^2$

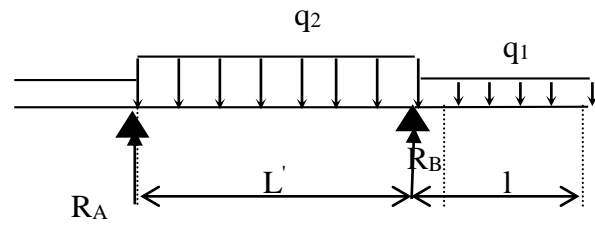
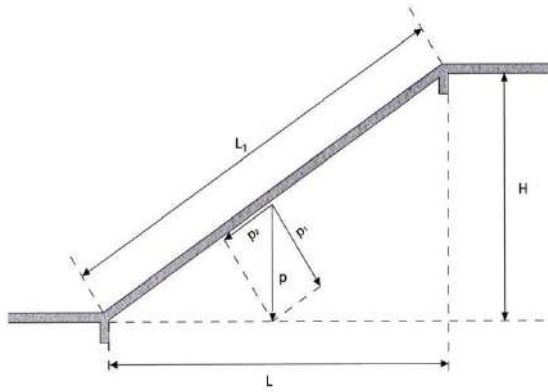
- Enduit de ciment $18 \times 0,02 = 0,36 \text{ kN/m}^2$

- garde corps $= 1 \text{ kN/m}^2$

$$G = 10,61 \text{ kN/m}^2$$

➤ **Surcharge d'exploitation**

$$Q = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

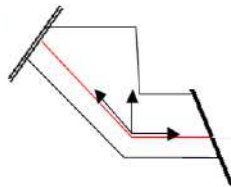


Le limon sera calculée comme une poutre (à la flexion simple) et reprenant les réaction de toutes les marches et son poids propre.

Ferraillage des escaliers :

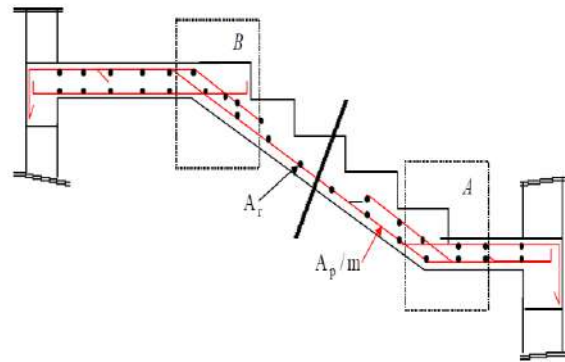
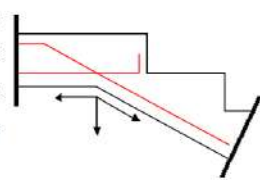
Détail A :

- ❖ On a prolongé les A_p au niveau du palier car on n'a pas de risque de poussée au vide.



Détail B :

- ♦ On ne peut pas faire le prolongement des A_p sur le palier car il y a risque d'éclatement du béton à cause de la poussée au vide.

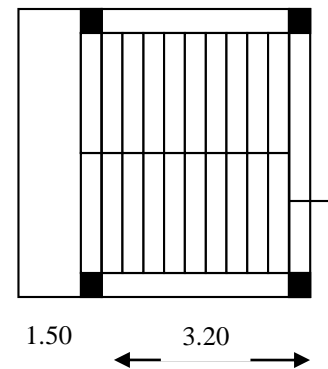


EXERCICE 02 :

l'escalier schématisé par la (figure 01) et composé de 02 palissasse et 01 paliers de repos, la hauteur d'étage égale 4.08m. l'escalier supportée une charge d'exploitation 2.5KN/m^2 et leur poids propre uniquement.

- 1) Dimensionner l'escalier ?
- 2) Calculer la section d'armature principale et les aciers de répartition.
- 3) Tracer la disposition des armatures? (plan de ferraillage)

($f_{c28}=25\text{MPa}$, $f_e=400\text{MPa}$, $\gamma=25\text{KN/m}^3$)



Solution

Pré dimensionnement

On a : $H = 2,04 \text{ m}$ $L' = 2,4 \text{ m}$

Formule de BLONDEL : $59 \leq g + 2h \leq 66$

Tel que :

- h : hauteur de la contremarche
- g : longueur de la marche
- n : nombre de contremarche
- $n-1$: nombre de contre marche

Donc : $n \times h = H$

$(n-1)g = L'$

On prend : $2h + g = 64 \text{ cm}$ ce qui donne :

$$g + 2h = \frac{L'}{n-1} + \frac{2H}{n} = 64 \text{ cm} \Rightarrow 64n^2 + (64 + 2H + L')n = 0 \text{ (après résolution de l'équation)}$$

$\Rightarrow n = 12$ (on prend 12 contremarches)

$g = 30 \text{ cm}$; $h = 17 \text{ cm}$

- détermination de l'épaisseur de la paillasse

$$\tan \alpha = \frac{H}{L'} = \frac{204}{320} = 0,6375 \Rightarrow \alpha = 32,52^\circ$$

$L = 320 + 150 = 470 \text{ cm} = 4,7 \text{ m}$

$$\frac{L}{30} \leq e \leq \frac{L}{20} \Rightarrow 15,66 \leq e \leq 23,5 \text{ cm} \text{ on prend } e = 20 \text{ cm}$$

Épaisseur du palier de repos : on prend la même épaisseur que la paillasse c-a-d $e = 20 \text{ cm}$

EVALUATION DES CHARGES ET SURCHARGES

Palier :

➤ Charge permanente

- Carrelage (2cm) $22 \times 0,02 = 0,44 \text{ kN/m}^2$
 - Mortier de pose (2cm)..... $20 \times 0,02 = 0,40 \text{ kN/m}^2$
 - Lit de sable $18 \times 0,02 = 0,36 \text{ kN/m}^2$
 - Poids propre du palier $25 \times 0,2 = 5 \text{ kN/m}^2$
 - Enduit de ciment $18 \times 0,02 = 0,36 \text{ kN/m}^2$
- $$G = 6,56 \text{ kN/m}^2$$

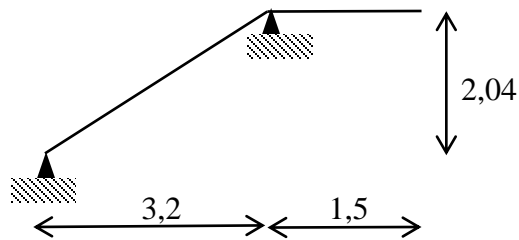
➤ Surcharge d'exploitation

$$Q = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Paillasse :

➤ Charge permanente

- Poids propre de la paillasse $25 \times 0,20 / \cos \alpha = 5,92 \text{ kN/m}^2$
- Poids propre de la marche $25 \times 0,17 / 2 = 2,13 \text{ kN/m}^2$
- Carrelage (2cm) $22 \times 0,02 = 0,44 \text{ kN/m}^2$
- Mortier de pose (2cm)..... $20 \times 0,02 = 0,40 \text{ kN/m}^2$
- Lit de sable $18 \times 0,02 = 0,36 \text{ kN/m}^2$
- Enduit de ciment $18 \times 0,02 = 0,36 \text{ kN/m}^2$



- garde corps= 1 kN/m²

$G = 10,61 \text{ kN/m}^2$

➤ **Surcharge d'exploitation**

$Q = 2,5 \text{ kN/m}^2$

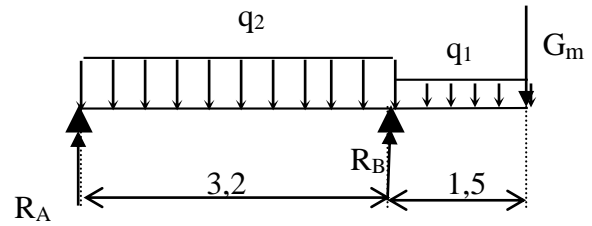
COMBINAISONS DE CHARGE

ELU :

$q_{1u} = 1,35G_1 + 1,5Q_1$

$q_{2u} = 1,35G_2 + 1,5Q_2$

$G_m = 1,35G_{mur}$



ELS :

$q_{1u} = G_1 + Q_1$

$q_{2u} = G_2 + Q_2$

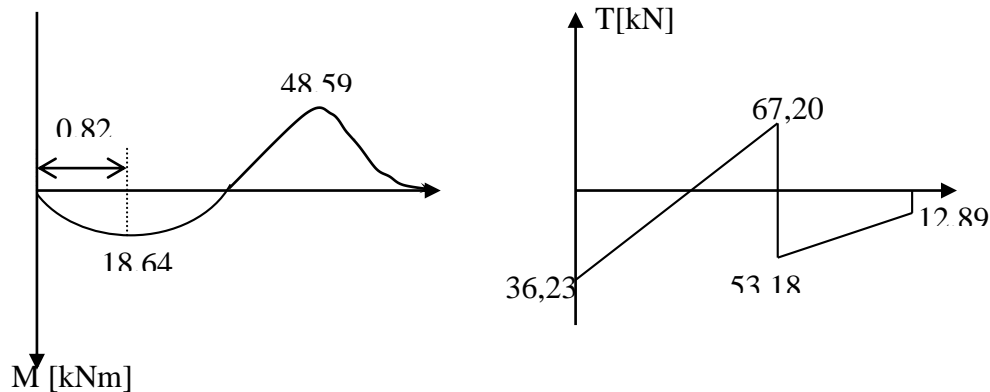
$G_m = G_{mur}$

	q_1 [kN/m ²]	q_2 [kN/m ²]	G_m [kN/m ²]
ELU	12,60	18,07	12,9
ELS	9,06	13,11	9,55

DIAGRAMME DES MOMENT ET DE L'EFFORT TRANCHANT

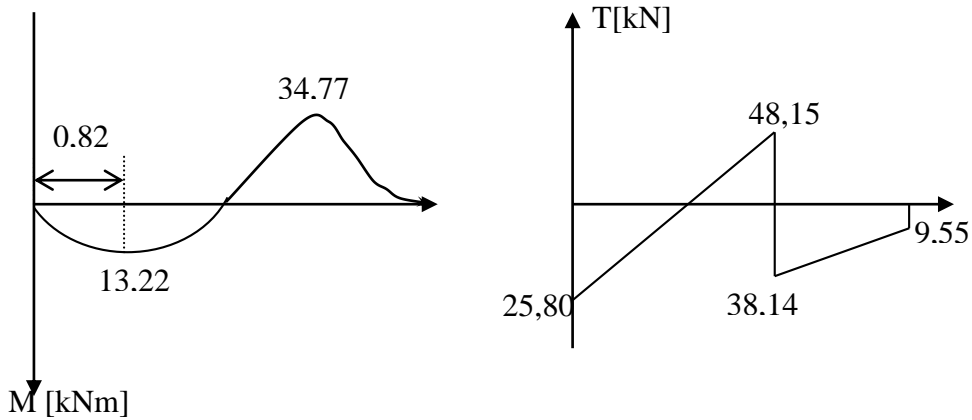
Pour la détermination des diagrammes du moment M et de l'effort tranchant T, on a utilisé le logiciel SAP2000

• ELU :



Avec : $R_A = 36,23 \text{ kN}$
 $R_B = 120,38 \text{ kN}$

• E L S



Avec : $R_A = 25,80 \text{ kN}$
 $R_B = 86,29 \text{ kN}$

C) CALCUL DES ARMATURES

Le ferrailage se fait en flexion simple pour une bande de 1 m , avec :

$b \times h = 100 \times 20 \text{ cm}^2$; $c = 1 \text{ cm}$,

$\emptyset < h/10$, $d = h - c - \emptyset/2 = 20 - 1 - 1 = 18 \text{ cm}$

	M_U [kNm]	f_{c28} [MPa]	F_e [MPa]	e [cm]	$A_{s'}$ [cm ²]	A_s [cm ²]	Choix des barres	$A_{s^{adopte}}$ [cm ²]
Travées	18,64	25	400	1	0	2,8	3T12	3,39
Appui	40,59				7,9	0	5T14	7,7

Espacement :

En travée : $St = 100/3 = 30 \text{ cm}$

Sur appui $St = 100/5 = 20 \text{ cm}$

Armatures de répartition :

En travée : $Ar \geq At/4 = 0,847 \text{ cm}^2$

On prend 4T6 avec $Ar = 1,13 \text{ cm}^2$ et un espacement de $St = 25 \text{ cm}$

Sur appui : $Ar \geq At/4 = 1,925$

On prend 4T8 avec $Ar = 2,01 \text{ cm}^2$ et un espacement de $St = 25 \text{ cm}$

L'ACROTÈRE

L'acrotère : muret en béton armé situé en bordure d'une toiture-terrasse. L'acrotère est dit bas lorsque sa hauteur, mesurée par rapport à la couche de protection, est inférieure à 30-cm et haut dans le cas contraire. Un acrotère haut peut faire office de garde-corps dans le cas d'une toiture-terrasse accessible. La partie saillante de l'acrotère empêchant l'eau de pluie de s'infiltrer derrière le relevé d'étanchéité est parfois appelée becquet.

DEFINITION

L'acrotère est un élément secondaire exposé aux chocs thermiques. Le calcul se fait à la flexion composée pour une bande de 1 m de longueur.

L'acrotère sera calculé en flexion composée sous l'effet d'un effort normal N_G dû au poids propre et un moment de flexion à la base dû à la charge de la main courante estimée à : $Q=1.0$ kN/ml

CALCUL DES CHARGES SOLLICITANT L'ACROTÈRE

CHARGE PERMANENTE ET SURCHARGE D'EXPLOITATION

charge permanente

La surface de l'acrotère :

$$S = 0,1 \times 0,5 + 0,08 \times 0,1 + 0,1 \times 0,02/2 = 0,059 \text{ m}^2$$

-Poids propre de l'acrotère : $25 \times 0,059 = 1,47$ kN/ml

-Revêtement : $0,18 \times 2 \times 0,015 \times 0,6 = 0,32$ kN/ml

$$G = 1,79 \text{ kN/ml}$$

charge d'exploitation

On prend en considération l'effet de la main courante

D'où $Q = 1,00$ kN/ml

B) DETERMINATION DES EFFORTS

• CALCUL DES EFFORTS A L' ELU

$$N_U = 1,35 G = 1,35 \times 1,79 = 2,41 \text{ kN}$$

$$M_U = 1,5 Q h = 1,5 \times 1 \times 0,50 = 0,75 \text{ kN.m}$$

$$T_U = 1,5 Q = 1,5 \times 1 = 1,5 \text{ kN}$$

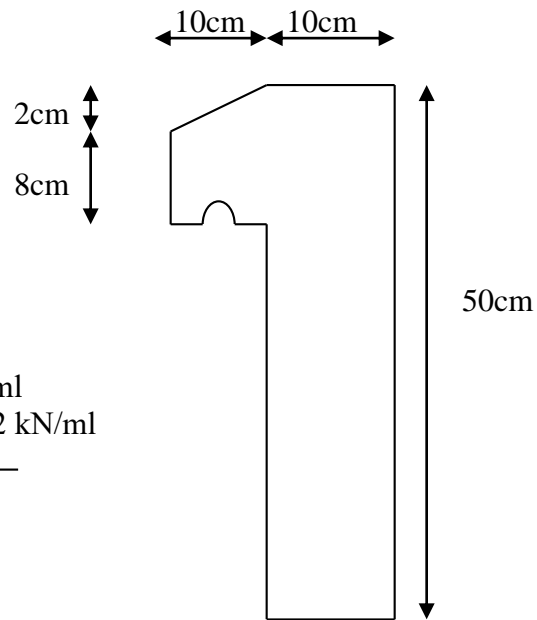


Figure : Dimension de l'acrotère

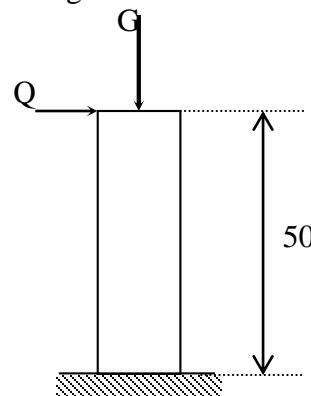


Figure : Schéma statique de l'acrotère

• CALCUL DES EFFORTS A L' ELS

$$N_S = G = 1,79 \text{ kN}$$

$$M_S = Q h = 1 \times 0,50 = 0,50 \text{ kN.m}$$

$$T_U = Q = 1 \text{ kN}$$

VI.4.2. FERRAILLAGE DE LA SECTION DE L'ACROTÈRE

L'acrotère est sollicitée en flexion composée le calcul s'effectuera à l'ELU.

données :

$$h = 10 \text{ cm} ; b = 100 \text{ cm} , f_{c28} = 25 \text{ MPa} , M_U = 0,75 \text{ kNm} , N_U = 2,416 \text{ kN} , \sigma_b = 14,2 \text{ MPa} , f_e = 400 \text{ MPa}$$

$$d = 0,9 h = 9 \text{ cm}$$

$$c = c' = 2,5 \text{ cm}$$

$$e_0 = \frac{M_u}{N_u} = \frac{0,75}{2,416} = 31,04 \text{ cm}$$

$$\frac{h}{2} - c = 2,5 \text{ cm}$$

$$\text{On a } e_0 = 31,04 \text{ cm} > \frac{h}{2} - c = 2,5 \text{ cm} \Rightarrow \text{SPC}$$

$$\text{Donc : } M_F = N_U f \text{ avec } f = e_0 + (h/2 - c) = 33,54 \text{ cm}$$

$$\text{D'où : } M_F = 0,810 \text{ kNm}$$

$$\text{D'après l'organigramme I: } M = M_F = 0,810 \text{ kNm}$$

$$\mu = 0,063 < \mu_r ; A_s' = 0 \text{ (pas d'acier comprimés)}$$

$$\alpha = 8,803 ; Z = 8,698 \text{ cm}$$

$$\mu < 0,186 \Rightarrow \epsilon_s = 10\% \text{ d'où } \sigma_s = 348 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow A_s = 25,954 \text{ mm}^2$$

D'où

$$A_1 = A_s' \text{ et } A_2 = A_s - \frac{N}{\sigma_s} = 25,954 - \frac{2,416 \cdot 10^3}{348} = 19,01 \text{ mm}^2$$

$$\text{On obtient : } A_1 = 0 \text{ et } A_2 = 0,19 \text{ cm}^2$$

➤ CONDITION DE NON FRAGILITE

$$A_{s \text{ min}} \geq 0,23 b d (f_{t28} / f_e) = 0,23 \times 100 \times 90 \times (2,1/400) = 1,08 \text{ cm}^2$$

$$\text{On prend } A_s = \max (A_2 ; A_{\text{min}}) = 1,08 \text{ cm}^2$$

La section choisie est 4T6 avec $A_s = 1,13 \text{ cm}^2$ avec un espacement $S_t = 25 \text{ cm}$

➤ ARMATURE DE REPARTITION

$$\frac{A_s}{4} \leq A_r \leq \frac{A_s}{2} \Rightarrow 0,352 \leq A_r \leq 0,705 \text{ cm}^2$$

La section choisie est $A_r = 3T6 = 1,13 \text{ cm}^2$ avec un espacement $S_t = 23 \text{ cm}$

VERIFICATION A L'ELS

La fissuration est préjudiciable, la vérification se fera suivant l'organigramme (flexion composée à ELS .voir Annexe)

$$e_0 = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = \frac{0,5}{1,79} 0,279 \text{ m on prend } e_0 = 28 \text{ cm}$$

$$\frac{h}{2} - c = 2,5 \text{ cm}$$

$$\text{On a } e_0 = 28 \text{ cm} > \frac{h}{2} - c = 2,5 \text{ cm} \Rightarrow \text{SPC}$$

On doit vérifier le béton et l'acier

On résous l'équation du troisième degré :

$$y_2^3 + P y_2 + q = 0 \dots\dots\dots(1)$$

Avec :

$$p = -3c^2 - \frac{90A_s'(c-c')}{b} + \frac{90A_s(d-c)}{b} = -3c^2 + \frac{90}{b} A_s(d-c)$$

$$q = -2c^2 - \frac{90A_s'(c-c')^2}{b} - \frac{90A_s(d-c)^2}{b} = -2c^2 + \frac{90}{b} A_s(d-c)^2$$

$$\Rightarrow p = 1546,392 \text{ cm}^2; q = 23034,544 \text{ cm}^2$$

D'où l'équation (1) devient :

$$y_2^3 - 154,392 y_2 + 23034,544 = 0$$

Après itération on trouve :

$$Y_1 = 25 \text{ cm}$$

$$Y_2 = 20,326 \text{ cm}$$

$$Y_3 = -45,32 \text{ cm}$$

$$\text{Tel que : } h - c \leq Y_2 \leq c \Rightarrow 10,4 \leq Y_2 \leq 23 \Rightarrow Y_2 = 20,326 \text{ cm}$$

$$Y_1 = Y_2 - c = 20,236 - 23 = -2,674 \text{ cm} \Rightarrow Y_1 = -2,674$$

• Calcul de moment statique

$$S^* = \frac{b}{2} y_1^2 + 15 \left[A_s'(y_1 - c') - A_s(d - y_1) \right]$$

$$S^* = 110,608 \text{ cm}^3$$

➤ CONTRAINTE DU BETON

$$\sigma_b = \frac{N_s}{S} y_1 < 0,6 f_{c28}$$

$$\sigma_b = 0,432 < 15 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

➤ CONTRAINTE DE L'ACIER

$$\sigma_s \leq \bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e; 110\eta \right\} = 176 \text{ MPa}$$

On a une fissuration préjudiciable :

$$\eta = 1,6 \text{ (Acier HA)}$$

$$\sigma_s = 15 \frac{N_s}{S} (d - y_1) = 28,33 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_s = 176 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

VERIFICATION DE L'EFFORT TRANCHANT

La contrainte de cisaillement est donnée par la formule suivante :

$$\tau_u = \frac{T_u}{bd} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{1000 \times 90} = 0,016$$

$$\bar{\tau}_u = \min\{0,1f_{c28}; 4\text{MPa}\} = 2,5\text{MPa}$$

$$\tau_u = 0,016 < \bar{\tau}_u = 2,5\text{MPa} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

VERIFICATION AU SEISME

L'acrotère doit être vérifié sous l'action d'un effort sismique F_P appliqué à sa partie supérieure. Il faut que :

$$F_P \leq 1,5 Q$$

On a :

$$F_P = 4 A C_P W_P$$

Avec :

F_P : force d'inertie appliquée au centre de base de l'acrotère

A : coefficient d'accélération pour la zone II, groupe 2, $A = 0,15$

C_P : facteur des forces horizontales ($C_P = 0,8$) élément consol

W_P : poids de l'acrotère $W_P = 1,79\text{kN/m}$

$$F_P = 4 \times 0,15 \times 0,8 \times 1,79 = 0,859$$

$$1,5 Q = 1,5 \cdot 1 = 1,5 \text{ kN/m}$$

Donc $F_P = 0,859 < 1,5 \dots\dots\dots \text{vérifié}$

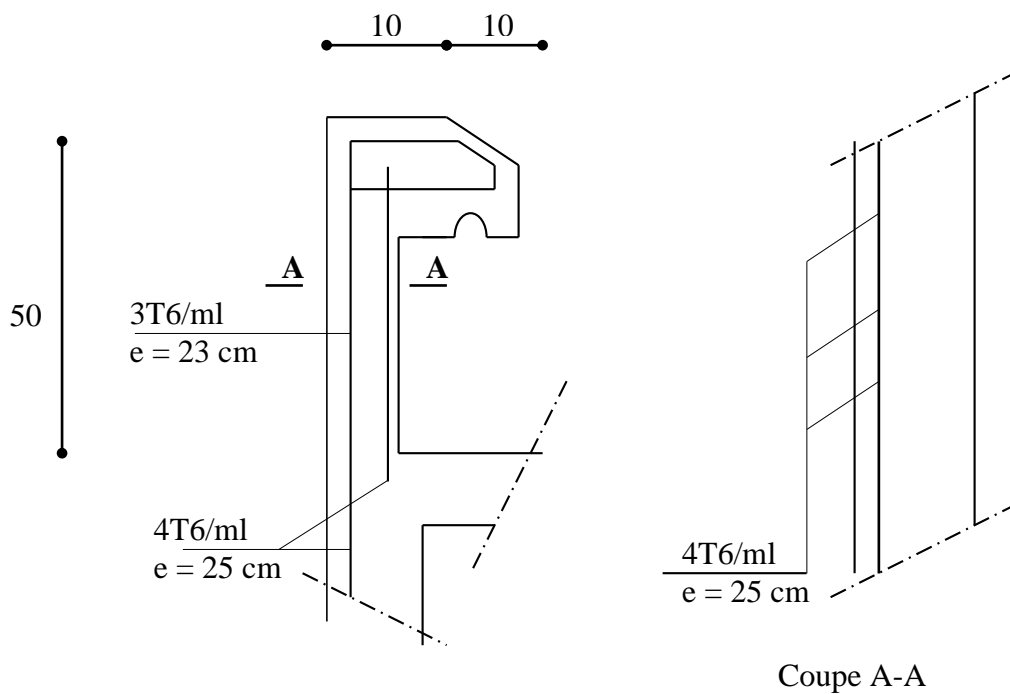


Figure. Ferrailage de l'acrotère

