Chapitre IV

Association Béton - Acier

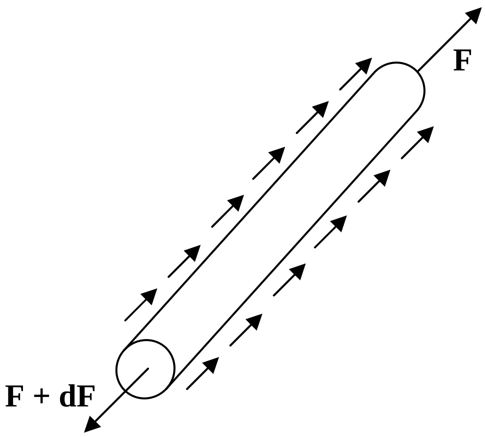
Chapitre IV : Association Béton - Acier

I- Généralité : L'association béton /acier est efficace pour les raisons suivantes :

- Le béton résiste aux essais à la compression.
- L 'acier résiste aux essais à la traction.
- L 'acier adhère au béton, se qui permet la transmission des efforts d'un matériaux à l'autre .
- Il n'y a pas de réaction chimique entre l'acier et le béton et en plus le béton protège l'acier de la corrosion .
- Le coefficient de dilatation des deux matériaux est pratiquement le même.

II- L'adhérences :

1-Définition : Dans les constructions du béton armé les efforts sont appliqués au béton et non pas aux aciers ceux-ci seront sollicités grâce à laissons avec le béton. La transmission des efforts à lieu le long de la surface latérale des barres grâce au phénomène d'adhérence. L'adhérence désigne l'action des forces de liaisons qui s'opposent au glissement des barres suivant l'axe par rapport au béton qui l'entoure. Ces forces de liaisons sont mesurées par la contrainte d'adhérence qui est définie comme étant le rapport entre la variation par unité de longueur de l'effort axial équilibré par la barre et le périmètre de cette barre.



$$\tau = \frac{dF}{dx}.\frac{1}{U}$$

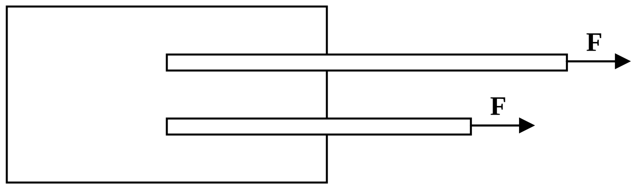
$\frac{dF}{dx}$: la variation de l'effort axial par unité de longueur.

U : le périmètre de la barre.

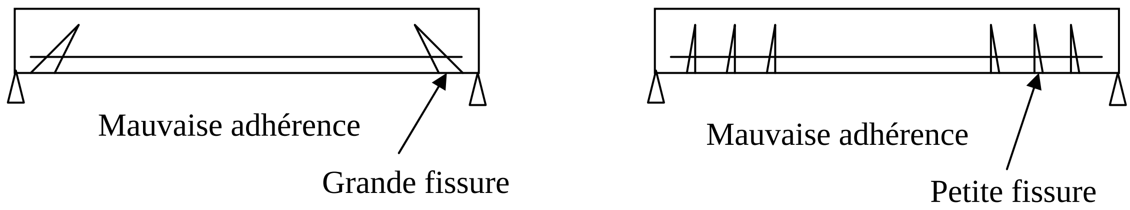
2. Fonctions d'adhérence :

a. <u>Entraînement des barres :</u> L'association entre le béton et l'acier est efficace parce qu'il y a adhérence entre deux matériaux ; ce qui permet le transfert des efforts entre eu.

b. Ancrage des barres : Appelé scellement, si la barre est trop courte, elle risque de s'arracher du béton sous l'effet de l'effort de traction. La barre doit être suffisamment longue pour être convenablement ancrée (scellée) et pour reprendre tout les efforts de traction.



c. distribution de la fissuration : L'adhérence permet de répartir les fissures. Plus l'adhérence est grande (meilleure), plus le nombre de fissure augmente mais la largeur cumulée reste la même, donc l'adhérence évite la formation de grandes fissures concentrées.



3. **Facteurs agissant sur l'adhérence :**

a . Etat de surface des barres : les surfaces rugueuses augmentent le frottement entre le béton et l'acier et par conséquent augmente l'adhérence. La résistance de barres au glissement est caractérisée par deux coefficients :

η : Coefficient d'adhérence ou de fissuration.	$\eta = 1$	**pour R.L**
	$\eta = 1,6$	**pour H.A**
ψ : Coefficient de scellement (ancrage)	$\psi = 1$	**pour R.L**
	$\psi = 1,5$	**pour H.A**

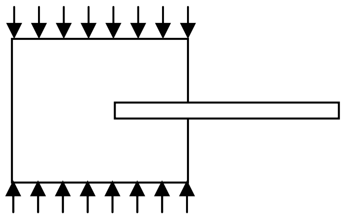
b. Forme des barres : l'adhérence circulaire (rond) est supérieure à celle des barre ayant une autre forme.

c. groupement d'armatures :

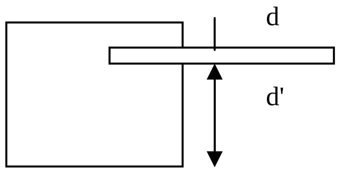
- l'adhérence d'une barre individuelle est supérieure à l'adhérence de deux barres groupée.
- l'adhérence de deux barres groupée dans le sens verticale est supérieure à l'adhérence de deux barres groupées horizontalement.

<u>d. La résistance du béton :</u> L'adhérence augmente avec l'augmentation de la résistance à la compression du béton.

<u>e. La compression transversale :</u> Dans une pièce comprimée, l'adhérence va augmenté par la contrainte crée (le serrage).

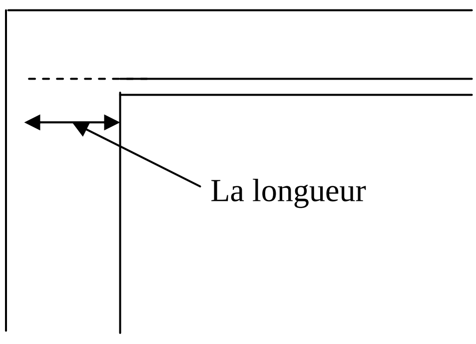


<u>f. L'épaisseur du béton :</u> Plus l'élément est épais plus l'adhérence est assurée car l'épaisseur du béton évite l'éclatement.



III. Ancrage des barres :

1. **Définition :** La longueur d'ancrage sera la longueur nécessaire pour équilibrer l'effort axial exercé sur la barre. Sur la longueur d'ancrage la contrainte d'adhérence sera supposée constante est égale à sa valeur limite ultime qui est la suivante :



$$\tau_s = 0{,}6 \cdot \psi^2 . f_{tj}$$

ψ : Coefficient de scellement.

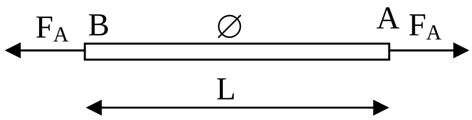
$\psi = 1$ pour R.L

$\psi = 1{,}5$ pour H.A

2-Ancrages rectilignes :

a - Variation de l'effort axial le long d'une barre droite :

La variation de l'effort F_A - F_B sera transmise au béton qui équilibre cette effort par l'adhérence.



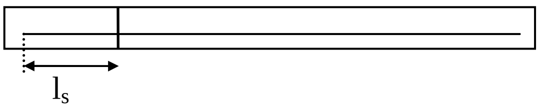
$$\tau_s = \frac{dF}{dx} \cdot \frac{1}{U}$$

$\Rightarrow$ $dF = \tau_s . U . dx$

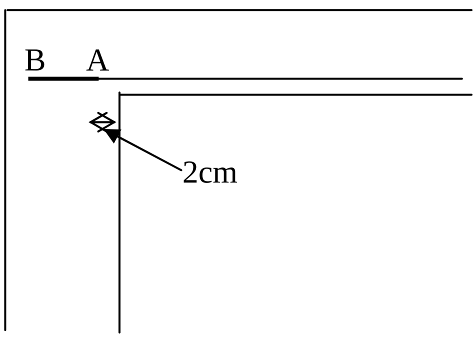
en intégrant $\int_{F_A}^{F_B} dF = \int_A^B \tau_s . U . dx$

$\Rightarrow$ $F_B - F_A = \tau_s . U . L = \tau_s . \pi . \varnothing . L$

b- Longueur de scellement droit :



la longueur de scellement droit l_s sera la longueur nécessaire pour une barre rectiligne de diamètre ∅ soumise à une contrainte égale à sa limite élastique soit convenablement ancrée (ancrage total) .



$F_A = F_B + \tau_s . \pi . \varnothing . L$

B extrémité de la barre $\Rightarrow F_B = 0$

$F_A = \tau_s . \pi . \varnothing . L_s$

L'ancrage sera dit total si l'effort F_A sera l'effort ultime de la barre :

$$F_A = \frac{\pi . \phi^2}{4} . fe$$

pour déterminer la longueur de scellement "L_s" il faut donc :

$$\tau_s . \pi . \phi . L_s = \frac{\pi . \phi^2}{4} . fe$$

d'où :

$$L_s = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{fe}{\tau_s}$$

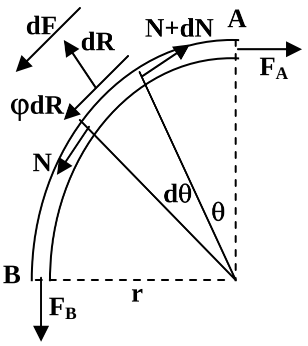
3- Les ancrages courbes : La longueur Ls est souvent trop importante par rapport à ce que l'on dispose pour cela, on utilise les ancrages courbes.

a- Variation de l'effort axial le long d'une barre courbe:

le long d'une barre courbe, l'effort axial varie en fonction de deux choses :

1. l'adhérence entre le béton et l'acier.
2. en fonction du frottement résultant de la réaction du béton sur la barre, le coefficient de frottement Acier-Béton sera noté :

φ = 0,4



- FA et FB sont des efforts aux extrémités du tronçon courbe.
- N et N+dN sont les efforts aux extrémités d'un petit élément.
- dR et φdR sont les composantes normale et tangentielle de la réaction du béton sur la barre.
- dF est la force d'adhérence qui sera donnée par :

dF = $\tau_s . \pi . . \varnothing . r . d\theta$

avec r : le rayon de courbure.

En vecteur nous avons : $\vec{N} + \overrightarrow{N+dN} + \overrightarrow{dF} + \overrightarrow{dR} + \overrightarrow{\varphi dR} = \vec{0}$

Projection sur la normale : $dR - N.\sin\frac{d\theta}{2} - (N+dN)\sin\frac{d\theta}{2} = 0$

$$\frac{d\theta}{2} \approx 0 \;\Rightarrow\; \sin\frac{d\theta}{2} = \frac{d\theta}{2}$$

$$dR - N\frac{d\theta}{2} - N\frac{d\theta}{2} - dN.\frac{d\theta}{2} = 0 \quad (dN.\frac{d\theta}{2} \text{ est négligeable})$$

$$dR - 2.N.\frac{d\theta}{2} = 0 \;\Rightarrow\; \mathbf{dR = N.d\theta}$$

Projection sur la tangente : $-dF - \varphi dR - N.\cos\frac{d\theta}{2} + (N+dN).\cos\frac{d\theta}{2} = 0$

$$\frac{d\theta}{2} \approx 0 \Rightarrow \cos\frac{d\theta}{2} \approx 1$$

$$\Rightarrow \quad -dF - \varphi dR + N - N + dN = 0$$

$$\Rightarrow \quad -dF - \varphi dR + dN = 0 \quad \Rightarrow \quad dN = dF + \varphi dR$$

On peut écrire : $dN = \tau_s . \pi . . \varnothing . r . d\theta + \varphi . N . d\theta$

$$dN = \left(N + \frac{\pi.\phi.\tau_s.r}{\varphi} \right).\varphi.d\theta \quad \Rightarrow \quad \frac{dN}{N + \frac{\pi.\phi.\tau_s.r}{\varphi}} = \varphi.d\theta$$

Après intégration : $$Ln\left(\frac{\pi.\phi.\tau_s.r}{\varphi} + N \right)\Bigg|_A^B = \varphi.\theta \quad \Rightarrow \quad Ln\left[\frac{\frac{\pi.\phi.\tau_s.r}{\varphi} + F_A}{\frac{\pi.\phi.\tau_s.r}{\varphi} + F_B} \right] = \varphi.\theta$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{\frac{\pi.\phi.\tau_s.r}{\varphi} + F_A}{\frac{\pi.\phi.\tau_s.r}{\varphi} + F_B} = e^{\varphi.\theta} \quad \Rightarrow \quad F_A = F_B.e^{\varphi\theta} + \frac{\pi.\phi.r\,\tau}{\varphi}.(e^{\varphi\theta} - 1)$$

Posons : $\alpha = e^{\varphi\theta}$ et $\beta = \dfrac{e^{\varphi\theta} - 1}{\varphi}$

$$\Rightarrow \quad \boldsymbol{F_A = \alpha \, . \, F_B + \beta \, . \, \pi \, . \, \varnothing \, . \, r \, . \, \tau_s}$$

Nous avons pour les barres : **R.L** **r = 3 . ∅**

H.A **r = 5,5 . ∅**

θ	**30°**	**45°**	**60°**	**90°**	**120°**	**135°**	**150°**	**180°**
α	1,23	1,37	1,52	1,87	2,31	2,57	2,85	3,51
β	0,58	0,92	1,30	2,19	3,28	3,92	4,62	6,28

<u>b- Calcul d'un ancrage courbe :</u>

L : la longueur d'ancrage.

Pour un tronçon rectiligne : $F_A = F_B + \tau_s . \pi . \varnothing . L$

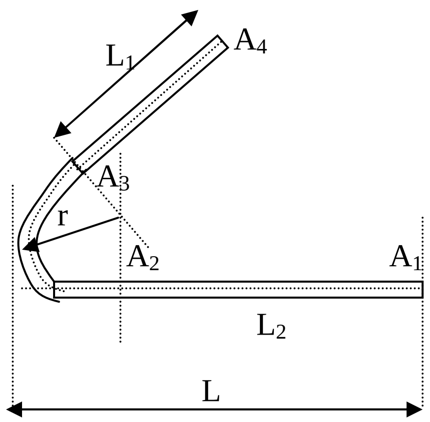
Pour un tronçon courbe : $F_A = \alpha . F_B + \beta . \pi . \varnothing . r . \tau_s$

$F_{A4} = 0$

A_4-A_3 : rectiligne $\Rightarrow F_{A3} = F_{A4} + \tau_s . \pi . \varnothing . L_1$

$\Rightarrow F_{A3} = \tau_s . \pi . \varnothing . L_1$

A_3-A_2 : courbe $\Rightarrow F_{A2} = \alpha . F_{A3} + \beta . \pi . \varnothing . r . \tau_s$



$$\Rightarrow F_{A2} = \alpha \,.\, \tau_s .\, \pi .\, \varnothing .\, L_1 + \beta \,.\, \pi \,.\, \varnothing \,.\, r \,.\, \tau_s$$

A_2-A_1 : rectiligne $\Rightarrow F_{A1} = F_{A2} + \tau_s .\, \pi .\, \varnothing .\, L_2$

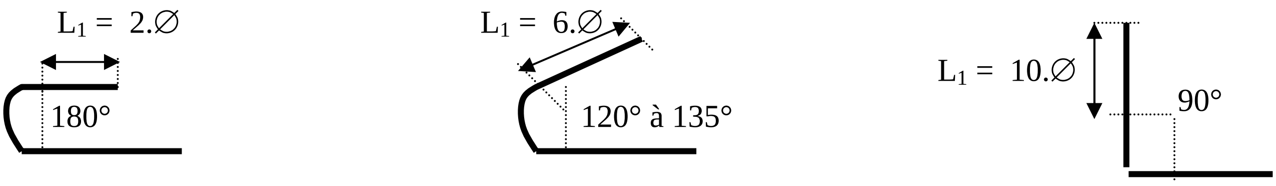
$$\Rightarrow F_{A1} = \alpha \,.\, \tau_s .\, \pi .\, \varnothing .\, L_1 + \beta \,.\, \pi \,.\, \varnothing \,.\, r \,.\, \tau_s + \tau_s .\, \pi .\, \varnothing .\, L_2 \quad \ldots\ldots\ldots(1)$$

Sachant que : $F_{A1} = \tau_s .\, \pi .\, \varnothing .\, L_s \ldots\ldots\ldots(2)$

$$(1) = (2) \Leftrightarrow \tau_s .\, \pi .\, \varnothing .\, L_s = \alpha \,.\, \tau_s .\, \pi .\, \varnothing .\, L_1 + \beta \,.\, \pi \,.\, \varnothing \,.\, r \,.\, \tau_s + \tau_s .\, \pi .\, \varnothing .\, L_2$$

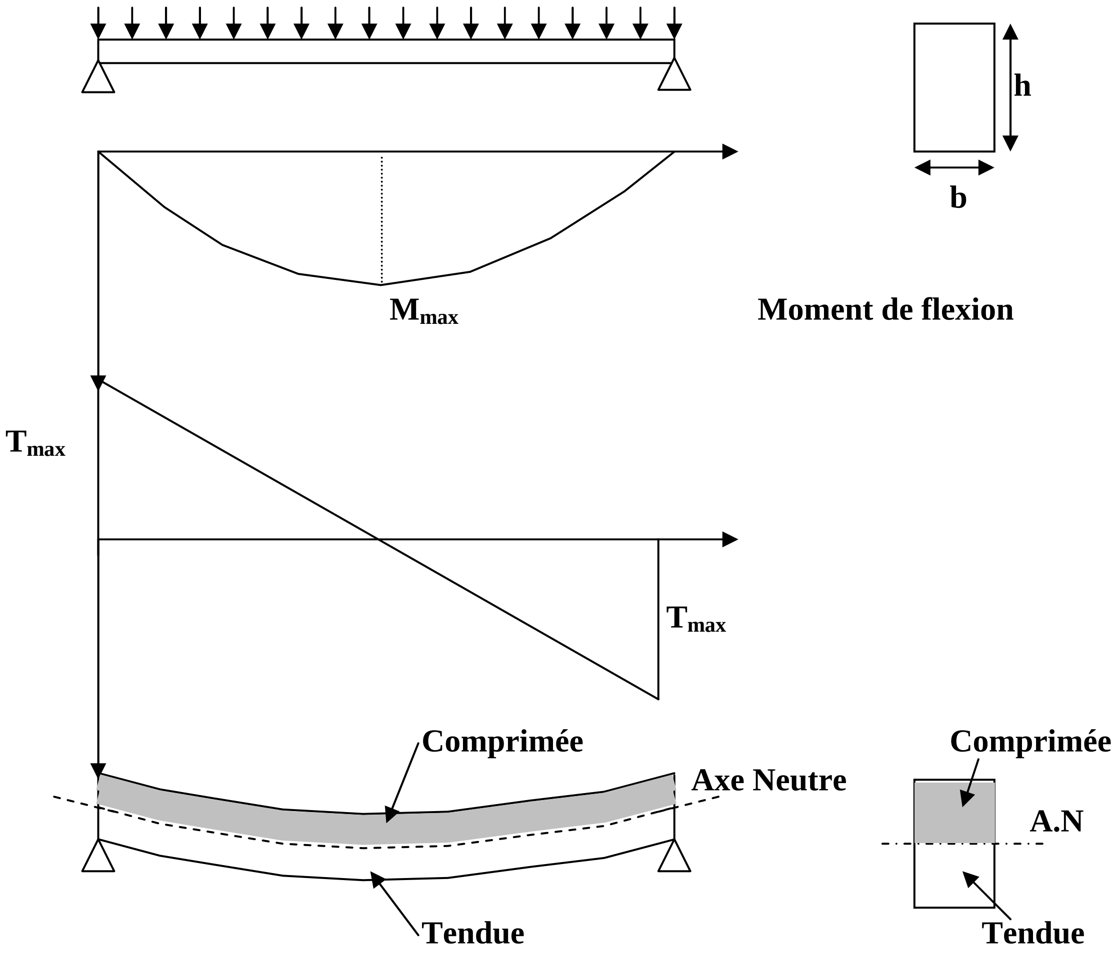
$$\Leftrightarrow \quad L_s = \alpha \,.\, L_1 + \beta \,.\, r + L_2$$

d'où : $\boldsymbol{L_2 = L_s - \alpha \,.\, L_1 - \beta \,.\, r}$

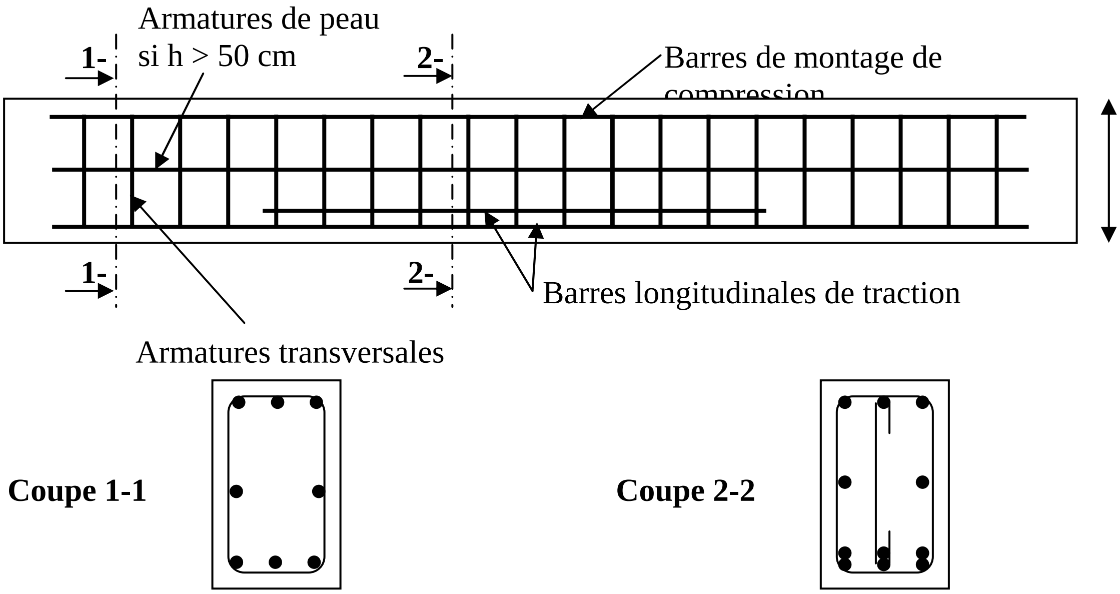


IV- Dispositions constructives:

1- Dénomination des armatures :



- Ferraillage de la poutre :

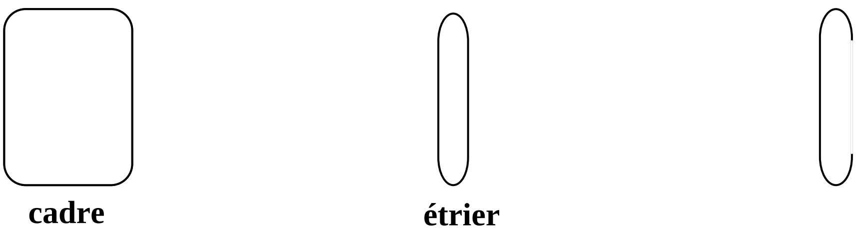


On distingue deux types d'armatures:

<u>a-Les armatures longitudinales :</u> on utilise généralement du haute adhérence avec de diamètres supérieurs ou égales à **12 mm**, elle seront disposées dans la partie tendue de la poutre pour reprendre les efforts de traction (armatures principales). Dans la partie comprimée les barres de montage qui peuvent éventuellement reprendre une partie des efforts de compression lorsque le béton ne suffit pas.

Pour les armatures de traction, il peut y avoir plusieurs nappes dans la partie ou le moment est maximum.

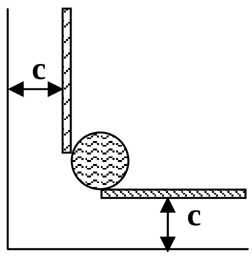
<u>b- Les armatures transversales :</u> sont appelées armatures de couture puisqu'elles coudent les fissures. Elles ont un diamètre inférieur à 10 mm. Il existe trois sorte d'armatures transversales :



- Les armatures transversales sont disposées le long de la poutre, elles sont très rapprochées au niveau des appuis parce que l'effort tranchant est maximum.
- Les armatures transversales sont attachées aux barres longitudinales en maintenant leurs écartements.

2- Dispositions constructives génératives :

a- Protection des armatures : cette protection appelée l'enrobage **"c"**. L'enrobage de toute armature doit au moins être égal à **5cm** pour les ouvrages de mer ou exposés aux atmosphères très agressives.

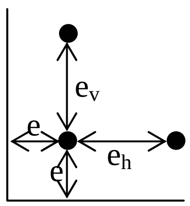


3 cm : pour les ouvrages soumis à des actions agressives et des ouvrages exposés aux intempéries (pluie, neige) ou en contact avec un liquide (pont…).

1 cm : pour les parois situées dans des locaux ouverts.

b- Distance entre barres :

-barres isolées :

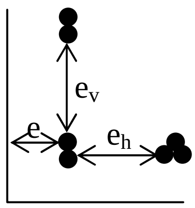


$e \geq \max(\varnothing\,;\, Cg)$

$e_h \geq \max(\varnothing\,;\, 1{,}5.Cg)$

$e_v \geq \max(\varnothing\,;\, Cg)$

- groupement des barres :



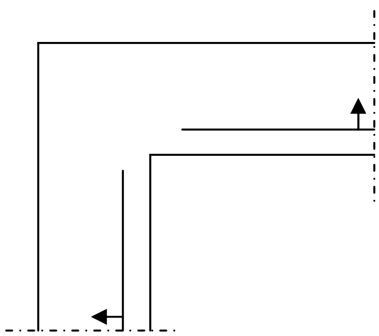
$e \geq \max(2.\varnothing\,;\, Cg)$

$e_h \geq \max(2.\varnothing\,;\, 1{,}5.Cg)$

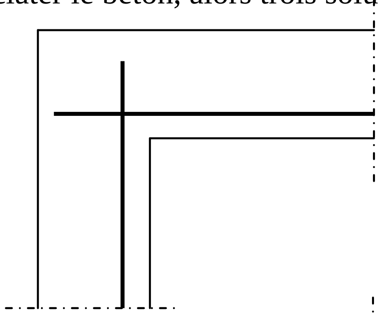
$e_v \geq \max(2.\varnothing\,;\, Cg)$

Cg : diamètre maximum des granulats.

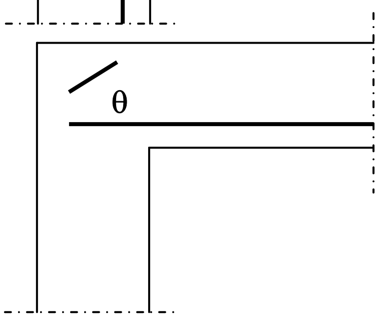
c- Poussée dans le vide : la présence d'ancrage courbe tente à faire fléchir la barre au point de changement de courbure. Il peut en résulter la poussée au vide capable de faire éclater le béton, alors trois solutions existent :



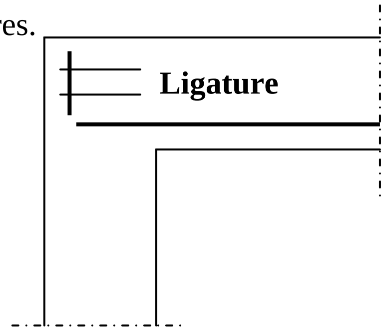
1. supprimer cette poussée en modifiant le ferraillage :



2. réduire le risque d'éclatement en inclinant la barre:



3. équilibrer la poussée, en attachant la barre par des ligatures.



3- Condition de non écrasement du béton : (rayon de courbure minimal)

Pour que la condition de non écrasement du béton soit assurée, il faut vérifier l'inégalité suivante:

$$r \geq 0{,}2\,.\,\phi\,.\left(1+\frac{\phi}{e_r}\right).\lambda.\frac{\sigma_s}{f_{cj}}$$

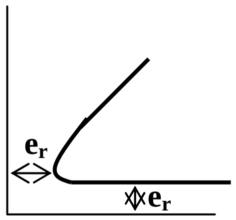
e_r : distance de la plus proche parois.

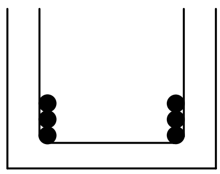
$\varnothing$: diamètre des barres courbées.

σ_s : la contrainte de l'acier calculée dans l'état limite ultime.

λ : coefficient $\lambda = 1$ si les barres sont disposées en une seule nappe.

$\lambda = \frac{5}{3};\frac{7}{3};3$ si les barres sont disposées en 2 nappes; 3 nappes; 4 nappes respectivement.





- Ancrage d'une barre comprimée : l'ancrage d'une barre comprimée courbée (ancrage courbe) est interdit. Pour une barre rectiligne l'ancrage en compression sera calculé comme suit :

$$L_{sc} = \frac{\phi}{4}.\frac{\sigma_{sc}}{\tau_s}$$

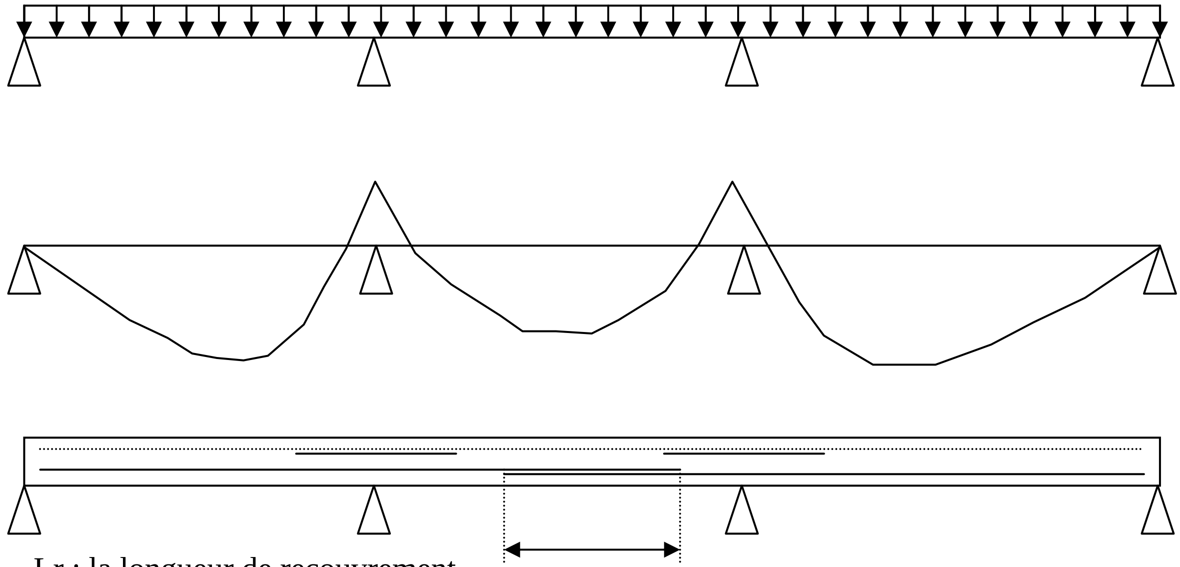
$\varnothing$: diamètre des barres.

σ_{sc} : la contrainte à la compression.

τ_s : la contrainte d'adhérence.

4- Les recouvrements :

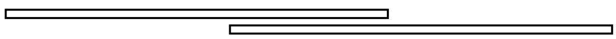
Le recouvrement est la distance de chevauchement entre deux barres adjacentes afin d'assurer la continuité lors de la transmission des sollicitations.



Lr : la longueur de recouvrement.

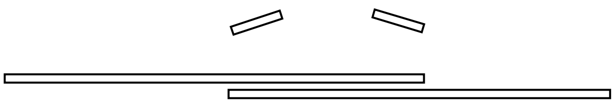
Ls : la longueur de scellement.

-recouvrement rectiligne : (droit)



$$\begin{cases} Lr \geq Ls \quad \text{Si } d < 5.\varnothing \\ Lr \geq Ls + d \quad \text{Si } d \geq 5.\varnothing \end{cases}$$

-recouvrement courbé :



$$\begin{cases} Lr \geq 0{,}4.Ls \quad \text{Si } d < 5.\varnothing \\ Lr \geq 0{,}4.Ls + d \quad \text{Si } d \geq 5.\varnothing \end{cases}$$

$$\begin{cases} Lr \geq 0{,}6.Ls \quad \text{Si } d < 5.\varnothing \\ Lr \geq 0{,}6.Ls + d \quad \text{Si } d \geq 5.\varnothing \end{cases}$$

H.A : haute adhérence.

R.L : rond lisse.

- Application :

Déterminez la longueur de scellement droit d'une barre de nuance FeE400 et de diamètre

16 mm avec f_{c28} = 25MPa.

-Puis recalculer pour un ancrage courbe de 180°.

Solution :

1°- Ancrage rectiligne :

$$L_s = \frac{\phi}{4}.\frac{fe}{\tau_s} \quad \text{avec} \quad \tau_s = 0{,}6 \,.\, \psi^2 \,.\, f_{t28}$$

$f_{t28} = 0{,}6 + 0{,}06.\ f_{c28} = 0{,}6 + 0{,}06\ .25 = 2.1$ MPa.

$\tau_s = 0{,}6\ .\ (1{,}5)\ .\ 2{,}1 = 2{,}83$ MPa avec $\psi = 1{,}5$ pour HA.

Donc : $L_s = \frac{16}{4}.\frac{400}{2{,}83} = 565{,}37$ mm ≈ 566 mm.

2°- Ancrage courbe :

$L_2 = L_s - \alpha.L_1 - \beta.r$

$L_s = 566$ mm. ; $r = 5{,}5.\varnothing$; $\varnothing = 16$mm ; $L_1 = 2.\varnothing$

$L_2 = 566 - 3{,}51\ .\ (2 \times 16) - 6{,}28\ .\ (5{,}5 \times 16)$

$L_2 < 0 \Rightarrow L_2 = 0$

$L = L_2 + r + \frac{\phi}{2} = 0 + 5{,}5 \times 16 + \frac{16}{2}$

L = 96 mm.