

Chapitre 03 : Association béton - acier, phénomène d'adhérence

3.1. Généralité :

Le béton armé étant une structure composite (béton et acier), donc il est nécessaire de bien connaître le comportement de l'interface entre les deux matériaux.

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, ce qui permet la transmission des efforts d'un matériau 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.

3.2. L'adhérences :

3.2.1. Définition : Dans les constructions en béton armé les efforts sont appliqués au béton et non pas aux aciers ceux-ci seront sollicités grâce à la liaison avec le béton. La transmission des efforts a lieu le long de la surface latérale des barres grâce au phénomène d'adhérence.

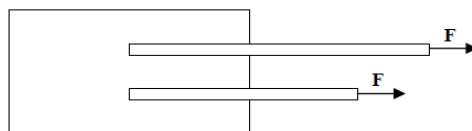
L'adhérence désigne l'action des forces de liaisons qui s'opposent au glissement des barres suivant l'axe par rapport au béton qui l'entoure.

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.

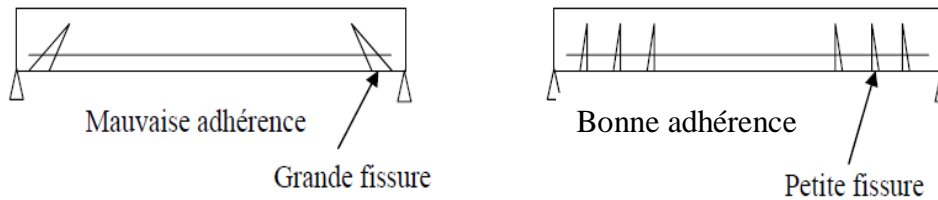
3.2.2. Fonctions d'adhérence :

a/- Entraînement des barres : 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 eux.

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 tous 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.



3.2.3. 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

ϕ : Coefficient de scellement (ancrage) $\phi = 1$ pour R.L $\phi = 1,5$ 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.



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

e/- La compression transversale : Dans une pièce comprimée, l'adhérence va augmenter par la contrainte créée (le serrage).

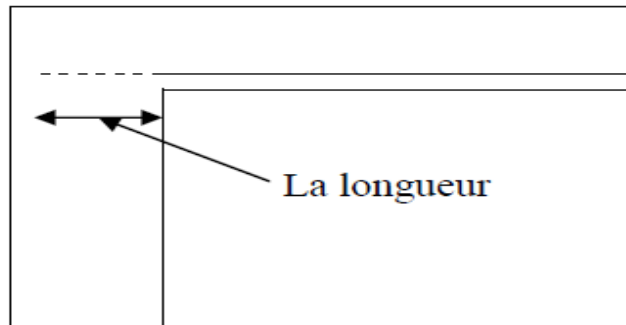
f/- L'épaisseur du béton : Plus l'élément est épais plus l'adhérence est assurée car l'épaisseur du béton évite l'éclatement.

3.3. Ancrage des barres :

3.3.1. 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 et égale à sa valeur limite ultime qui est la suivante :

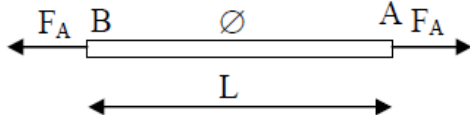
$$\tau_s = 0,6 \cdot \psi_s^2 \cdot f_{tj}$$

ψ_s : Coefficient de scellement. $\psi_s = 1$ pour R.L $\psi_s = 1,5$ pour H.A



3.3.2. 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 cet effort par l'adhérence.



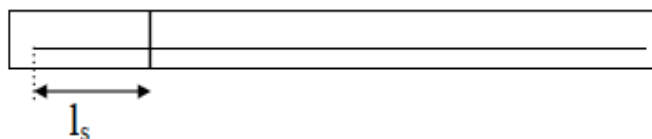
$$\tau_s = \frac{dF}{dx} \cdot \frac{1}{U}$$

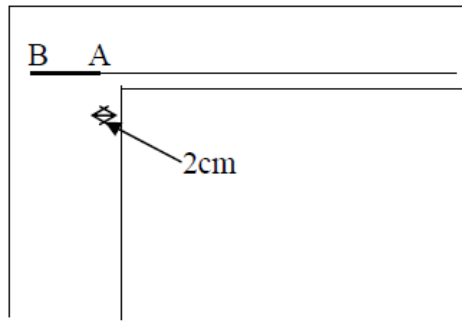
$$\Rightarrow dF = \tau_s \cdot U \cdot dx$$

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

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

b/- **Longueur de scellement droit :** On définit la longueur de scellement droit L_s sera la longueur nécessaire pour une barre rectiligne de diamètre \varnothing soumise à une contrainte égale à sa limite élastique soit convenablement ancrée (ancrage total).





$$F_A = F_B + \tau_s \cdot \pi \cdot \phi \cdot L$$

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

$$F_A = \tau_s \cdot \pi \cdot \phi \cdot L_s$$

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

$$F_A = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot f_e$$

Pour déterminer la longueur de scellement "Ls" il faut donc :

$$\tau_s \cdot \pi \cdot \phi \cdot L_s = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot f_e$$

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

Dans la pratique les calculs d'ancrage sont réalisés à L'ELU et la valeur de la contrainte d'adhérence est donnée de façon forfaitaire par : $\tau_s = 0,6 \cdot \psi_s^2 \cdot f_{ij}$

On retiendra que la longueur de scellement droit L_s dépend du type d'acier (f_e et ψ_s) et de la qualité du béton (f_{ij}).

Pour des aciers HA, on utilisera le tableau ci-dessous pour calculer la longueur de scellement droit L_s .

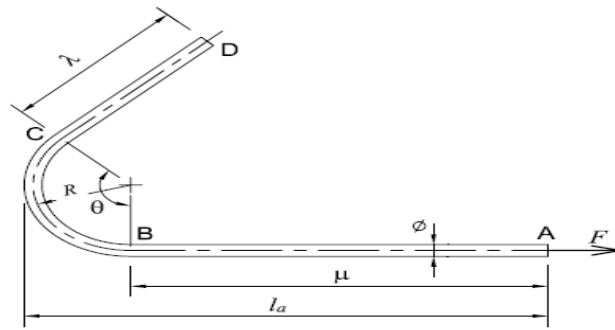
	f_{c_j} [MPa]	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$f_e E 400$	$l_s / \Phi_l =$	41	35	31	27	25	22	21	19	18
$f_e E 500$	$l_s / \Phi_l =$	51	44	39	34	31	28	26	24	22

Le BAEL propose d'adopter les valeurs forfaitaires suivantes :

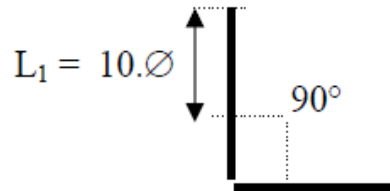
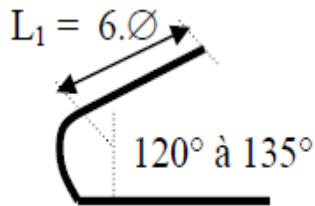
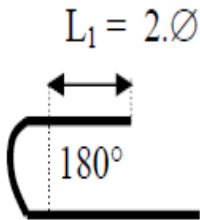
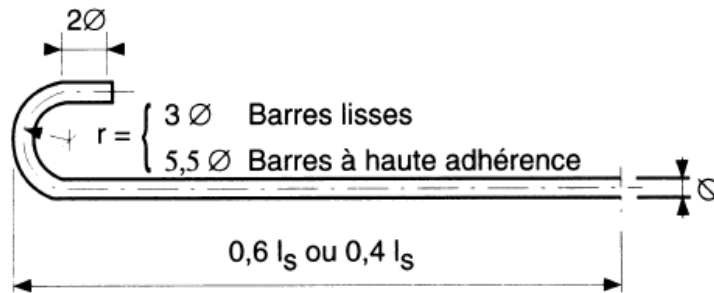
$$L_s = \begin{cases} 40 \Phi \text{ pour un HA feE400} \\ 50 \Phi \text{ pour un HA feE500 ou un rond lisse} \end{cases}$$

3.3.3. Les ancrages courbes :

Par manque de place, comme aux appuis de rives par exemple, on est obligé d'avoir recourt à des ancrages courbes afin de diminuer la longueur d'encombrement de l'ancrage. On pourrait aussi penser au gain d'acier, mais celui-ci est plus faible que le cout de la main d'œuvre nécessaire au façonnage de l'ancrage. Donc, quand il n'y a pas de problème pour placer un ancrage droit, c'est cette solution qu'il faut adopter. Un ancrage courbe est composé de deux parties droites AB et CD de longueurs μ et λ , respectivement, et d'une partie courbe BC de rayon de courbure R et d'angle θ (voir Figure ci-dessous).

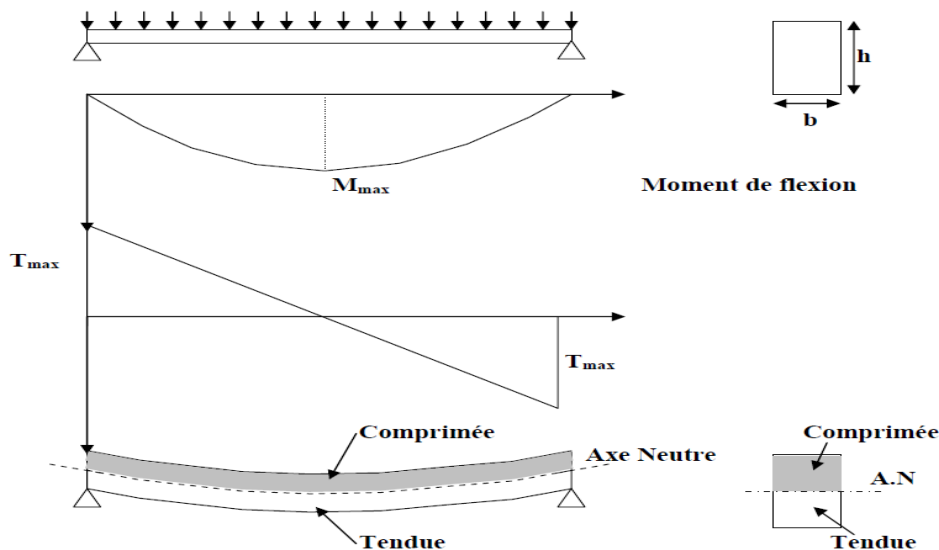


Le BAEL propose d'adopter le crochet normal à 180° de longueur d'encombrement de l'ancrage $l_a = 0,4 L_S$ pour des aciers HA.

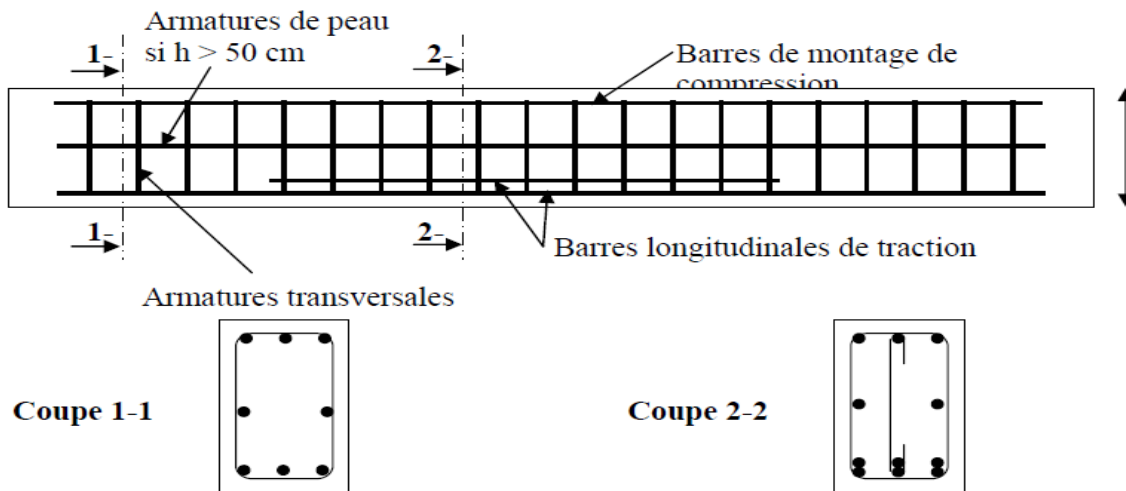


3.4. Dispositions constructives :

3.4.1. Dénomination des armatures:



Ferraillage de la poutre:

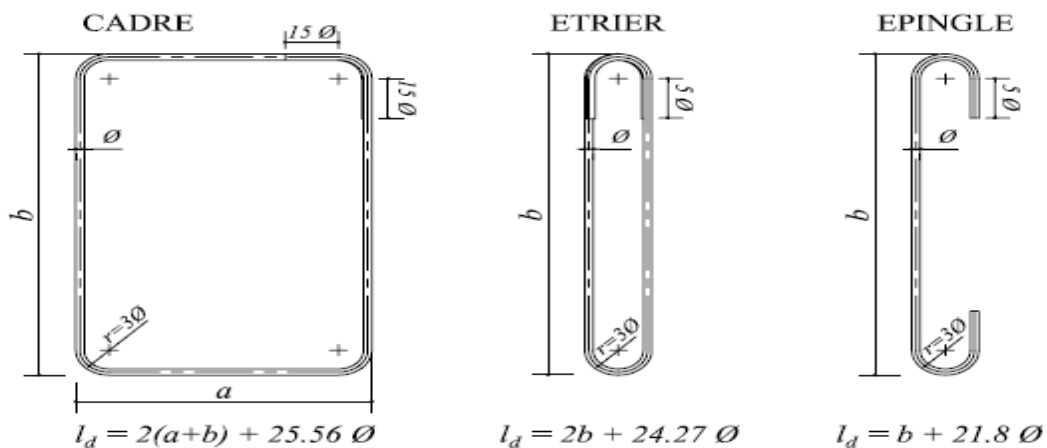


On distingue deux types d'armatures :

a/- Les armatures longitudinales : on utilise généralement du haute adhérence avec de diamètres supérieurs ou égaux 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 où le moment est maximum.

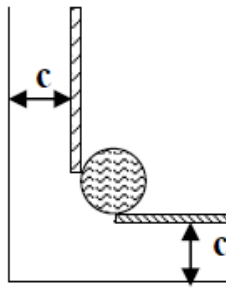
b/- Les armatures transversales : sont appelées armatures de couture puisqu'elles coudent les fissures. Elles ont un diamètre inférieur à 10 mm.

Il existe trois sortes d'armatures transversales :



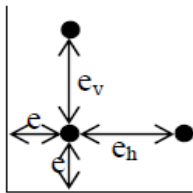
- Les armatures transversales sont disposées le long de la poutre, elles sont très rapprochées au niveau des appuis parce que l'effort tranchant est maximum.
- Les armatures transversales sont attachées aux barres longitudinales en maintenant leurs écartements.

3.4.2. Dispositions constructives génératives :

<p>a/- Protection des armatures : cette protection appelée l'enrobage "c". L'enrobage de toute armature doit au moins être égal à :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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 :

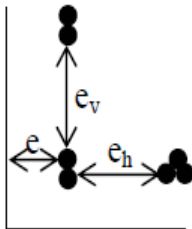


$$e \geq \max (\varnothing ; Cg)$$

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

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

- 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.

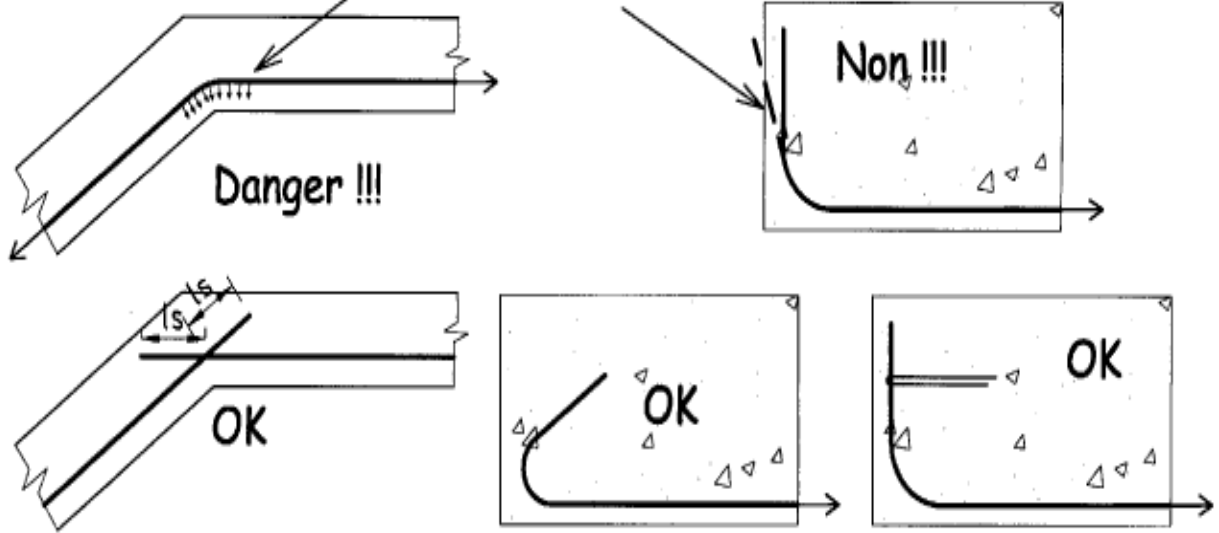
c/- Poussée au vide :

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 ferrailage :
2. réduire le risque d'éclatement en inclinant la barre:
3. équilibrer la poussée, en attachant la barre par des ligatures.

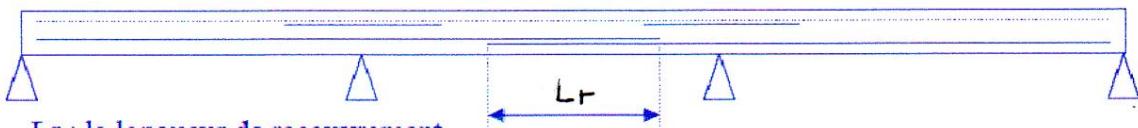
Poussée au vide

l'armature tendue pousse le béton => risque d'éclatement du parement



3.4.3. Les recouvrements :

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



L_r : la longueur de recouvrement.

L_s : la longueur de scellement.

-recouvrement rectiligne : (droit)



$$\left\{ \begin{array}{l} L_r \geq L_s \text{ Si } d < 5\varnothing \\ L_r \geq L_s + d \text{ Si } d \geq 5\varnothing \end{array} \right.$$

-recouvrement courbé :



$$\begin{array}{l} \text{H.A.} \left\{ \begin{array}{l} L_r \geq 0,4.L_s \text{ Si } d < 5\varnothing \\ L_r \geq 0,4.L_s + d \text{ Si } d \geq 5\varnothing \end{array} \right. \\ \text{R.L.} \left\{ \begin{array}{l} L_r \geq 0,6.L_s \text{ Si } d < 5\varnothing \\ L_r \geq 0,6.L_s + d \text{ Si } d \geq 5\varnothing \end{array} \right. \end{array}$$

H.A : haute adhérence.

R.L : rond lisse.