

Chapitre 5

Adhérence et ancrage

5.1 Adhérence acier-béton

5.1.1 Définition de l'adhérence

On désigne sous le nom d'adhérence les forces de liaison qui s'opposent au glissement des armatures par rapport au béton qui les enrobe, pour justifier une des hypothèses importantes des calculs en béton armé, à savoir qu'il n'y a pas de glissement des barres d'acier ($\varepsilon_b = \varepsilon_s$). Cette propriété permet la transmission des efforts du béton aux armatures.

Cette adhérence est principalement due:

- à des forces d'origine chimique correspondant à un "collage", ces forces sont de valeur médiocre et peu fiables.
- à des forces de frottement dues aux irrégularités naturelles de surface de la barre, ces forces, plus importantes, sont encore assez limitées, c'est le principal mode d'adhésion des barres lisses.
- à des forces d'engrènement mécanique dues aux saillies et aux aspérités des barres dites à haute adhérence HA (voir ci-contre), ces forces mettent en jeu la résistance du béton en compression et au cisaillement à proximité de la barre.

On observe plusieurs types de rupture (Fig. 5.1):

- rupture par traction de l'acier (ancrage parfait),
- glissement de la barre dans le béton,
- destruction du béton par arrachement d'un cône de béton.

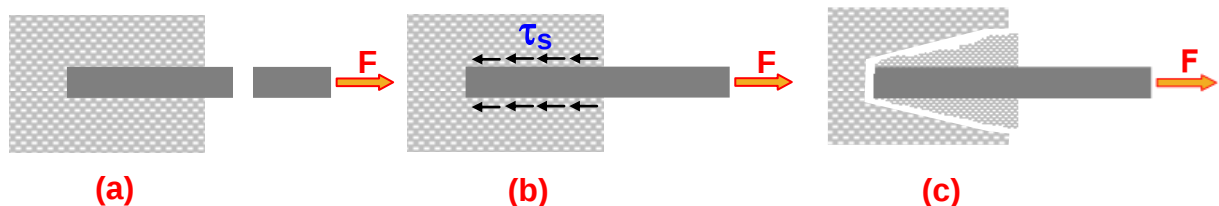


Fig. 5.1 : Types de ruptures dans un essai d'arrachement d'une barre scellée dans un massif en béton.

L'adhérence acier-béton est influencée par plusieurs facteurs, à savoir :

- Etat de surface des barres (surface lisse, surface rugueuse);
- Forme des barres;
- Groupement d'armatures;
- Résistance du béton;
- Compression transversale (serrage);
- Epaisseur du béton.

5.1.2 Contrainte d'adhérence

La liaison entre une armature et le béton est mesurée par la contrainte d'adhérence τ_s définie par la formule (Fig. 5.2):

où :

$$\tau_s = \frac{1}{u} \frac{dF}{dx} \dots\dots\dots(5.1)$$

dF/dx : la variation par unité de longueur de l'effort axial exercé sur l'armature

u : le périmètre utile d'une barre ou d'un paquet de barres.

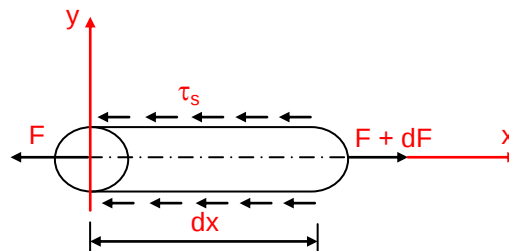


Fig. 5.2 : L'équilibre d'un tronçon de barre de longueur dx.

5.1.3 Contrainte limite d'adhérence

Pour assurer un ancrage correct, c'est-à-dire empêcher le glissement de l'armature dans la gaine de béton qui l'entoure, il faut limiter la contrainte d'adhérence à la valeur :

$$\tau_{su} = 0.6 \psi_s^2 \cdot f_{tj}$$

avec :

- $f_{tj} = 0,6 + 0,06 \cdot f_{cj}$, f_{tj} et f_{cj} exprimées en MPa

- ψ_s : est le coefficient de scellement relatif à l'acier, selon sa nature lisse ou HA
 - $\psi_s = 1$ pour les aciers lisses
 - $\psi_s = 1,5$ pour les aciers HA

5.2 Ancrage des aciers

5.2.1 Ancrage droit

On parle d'un bon ancrage d'une barre lorsque l'effort de traction exercé sur cette barre est entièrement équilibré par l'adhérence entre le béton et l'acier dans la zone d'ancrage.

On définit la **longueur de scellement droit** l_s comme la longueur d'une barre de diamètre $\emptyset$ capable d'équilibrer avec une contrainte d'adhérence τ_{su} l'effort provoquant dans cette barre une contrainte de traction égale à la limite élastique de l'acier f_e (Fig. 5.3).

Donc : Force d'adhérence = Force de traction

$$\frac{\pi \cdot \emptyset^2 \cdot f_e}{4} = \pi \cdot \emptyset \cdot \tau_{su} \cdot l_s$$

D'où :

$$l_s = \frac{\emptyset \cdot f_e}{4 \tau_{su}}$$

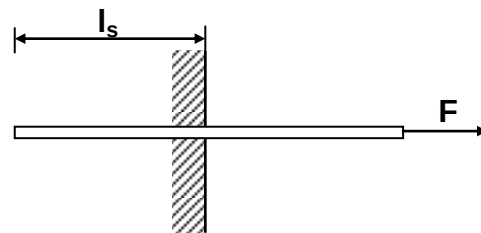


Fig. 5.3 : Ancrage droit

A défaut de calcul précis, on adopte les valeurs forfaitaires suivantes :

- **40 $\emptyset$** pour les aciers à haute adhérence Fe E 400 de ψ_s au moins égal à 1,5 ;
- **50 $\emptyset$** pour les aciers à haute adhérence Fe E 500 de ψ_s au moins égal à 1,5 et pour les aciers lisses Fe E 215 et Fe E 235.

5.2.2 Longueur de scellement droit dans le cas d'un paquet de barres

Une barre doit toujours être ancrée individuellement (A 6.1.21).

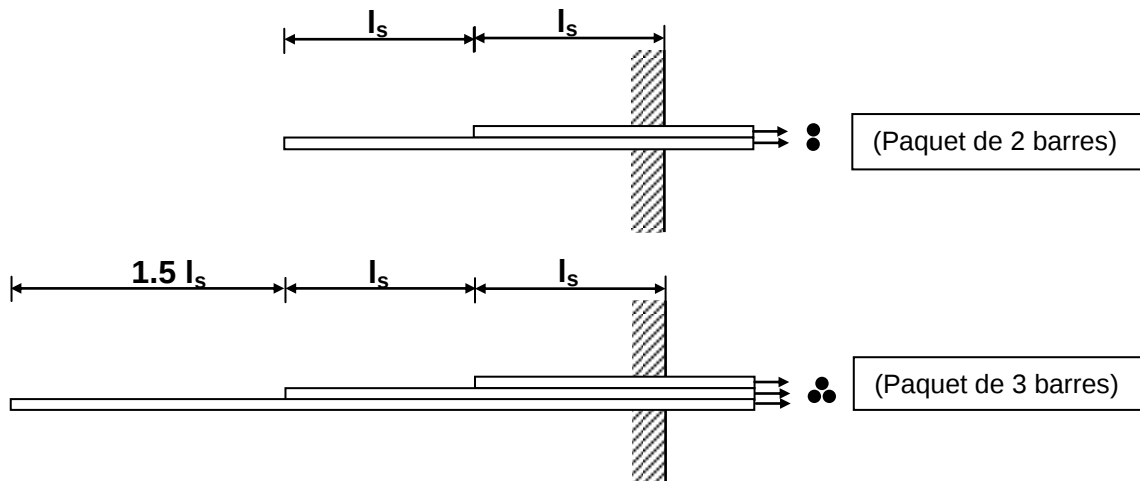


Fig. 5.4 : Ancrage droit dans le cas de paquet de 2 ou 3 barres

5.2.3 Ancrage courbe

Quand les dimensions de la pièce ne sont pas suffisantes pour permettre un ancrage droit de longueur l_s , nous procédons à un ancrage courbe (Appui extrême des poutres).

Un ancrage courbe est composé de deux parties droites **AB** et **CD** de longueurs l_2 et l_1 respectivement, et d'une partie courbe **BC** de rayon de courbure r et d'angle θ (voir Fig. 5.5).

l_a : longueur d'ancrage

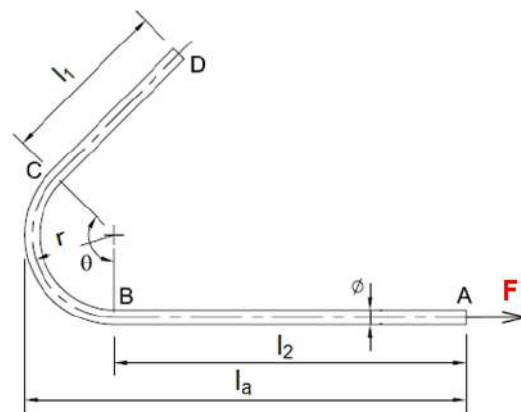


Fig. 5.5 : Ancrage courbe de barres tendues

5.2.3.1 Rayons de courbure minimaux (B.A.E.L. A.6.1,25)

Selon le BAEL, les ancrages par courbure doivent être réalisés suivant les rayons minimaux suivants :

➤ **Aciers en barres ronds lisses :**

- Façonnage des crochets : $r \geq 3 \varnothing$
- Façonnage des cadres, étriers, épingles : $r \geq 2 \varnothing$

➤ **Aciers en barres à haute adhérence :**

- Façonnage des crochets : $r \geq 2 \varnothing$
- Façonnage des cadres, étriers, épingles : $r \geq 2 \varnothing$ en général

5.2.3.2 Caractéristiques des crochets courants

On utilise le plus couramment les types de crochets suivants:

➤ **L'angle $\theta = 90^\circ$ (Fig. 5.6):**

$$I_s = 1.87 I_1 + I_2 + 2.19 r$$

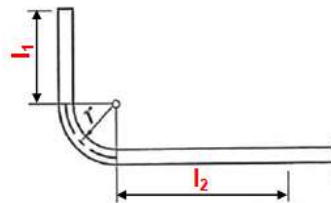


Fig. 5.6 : Ancrage courbe pour un angle $\theta = 90^\circ$

➤ **L'angle $\theta = 120^\circ$ (Fig. 5.7):**

$$I_s = 2.31 I_1 + I_2 + 3.28 r$$

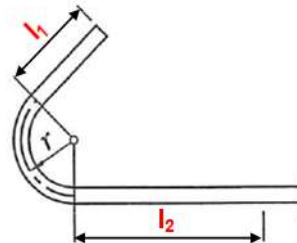


Fig. 5.7 : Ancrage courbe pour un angle $\theta = 120^\circ$

➤ **L'angle $\theta = 180^\circ$ (Fig. 5.8):**

$$I_s = 3.51 I_1 + I_2 + 6.28 r$$

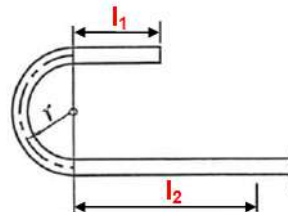


Fig. 5.8 : Ancrage courbe pour un angle $\theta = 180^\circ$

➤ **L'angle $\theta = 135^\circ$ (Fig. 5.9):**

$$I_s = 2.57 I_1 + I_2 + 3.92 r$$

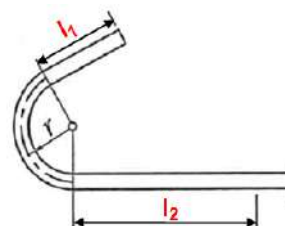


Fig. 5.9 : Ancrage courbe pour un angle $\theta = 135^\circ$

- l_s est la longueur équivalente de scellement droit de scellement droit de l'ancrage droit équivalent.

5.2.4 Ancrage des cadres, étriers et épingles

Selon le BAEL (A.6.1,255), on admet que les ancrages des extrémités des barres façonnées en cadres, étriers et épingles sont assurés par courbure suivant le rayon minimal, si les parties courbes sont prolongées par des parties rectilignes de longueur au moins égale à (Fig. 5.10):

- **5 $\varnothing$** pour un arc de cercle de 180° ;
- **10 $\varnothing$** pour un arc de cercle de 135° ;
- **15 $\varnothing$** pour un arc de cercle de 90° ,

à condition que les plans de ces ancrages ne fassent pas un angle supérieur à $\pi/8$ avec les sections droites où sont disposés les aciers en cause.

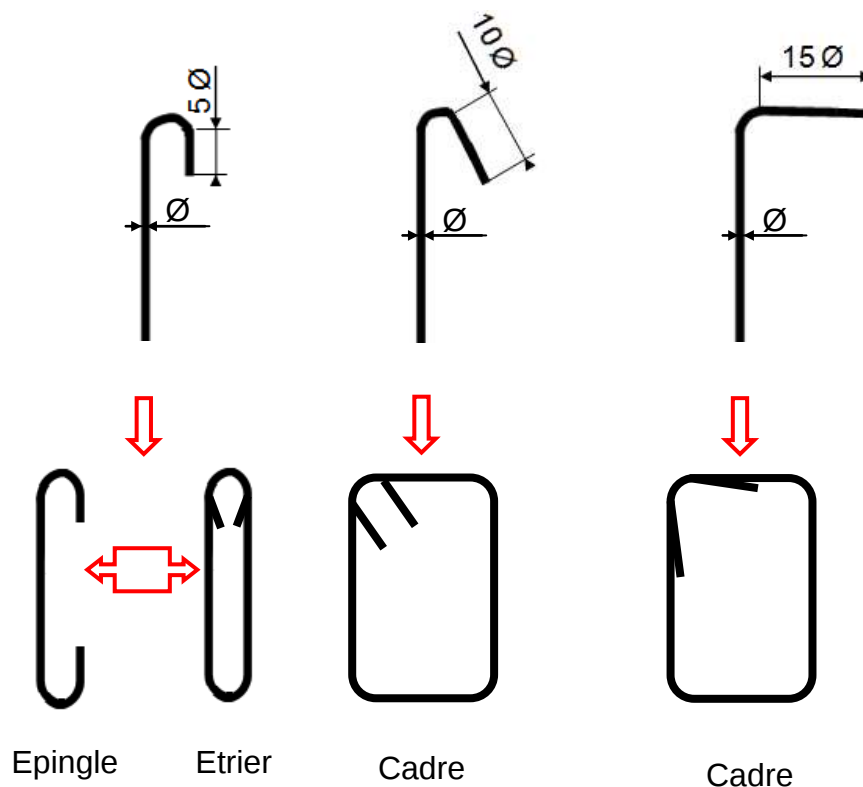


Fig. 5.10 : Ancrage des cadres, étriers et épingles

5.3 Recouvrements

Vu la longueur limitée des barres commercialisées, certains éléments de grande longueur nécessitent l'utilisation de plusieurs barres pour assurer la continuité des armatures, et par suite la continuité de la transmission des efforts. Pour assurer cette fonction, il faut réaliser une jonction par recouvrement entre deux barres identiques sur une certaine longueur appelée "**longueur de recouvrement**" et notée " **l_r** ".

5.3.1 Barres rectilignes sans crochets

5.3.1.1 Barres tendues

a. continuité par simple recouvrement

- Si : $c \leq 5\varnothing \Rightarrow l_r = l_s$
- Si : $c > 5\varnothing \Rightarrow l_r = l_s + c$

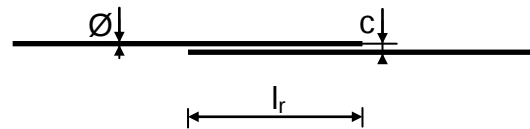


Fig. 5.11 : Simple recouvrement des extrémités des barres sans crochets

Avec :

c : est la distance entre axes des 2 barres

l_s : longueur de scellement

b. Recouvrement par couvre-joint :

$$l_r = 2 l_s$$

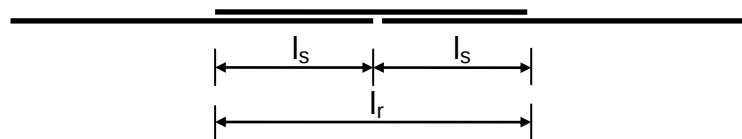


Fig. 5.12 : Recouvrement par couvre-joint

5.3.1.2 Barres comprimées

a. continuité par simple recouvrement

$$l_r = 0.6 l_s$$

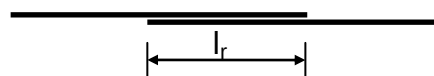


Fig. 5.13 : Simple recouvrement des extrémités des barres comprimées

donc : FeE400 $\Rightarrow l_r = 24 \varnothing$

FeE500 $\Rightarrow l_r = 30 \varnothing$

5.3.1.3 Couture des jonctions

Dans le cas d'une jonction par recouvrement de deux barres parallèles, la résistance de l'ensemble des armatures de couture est au moins égale à la résistance de chacune des barres à ancrer.

$$\Sigma A_t \cdot f_{et} \geq \Sigma A_s \cdot f_e$$

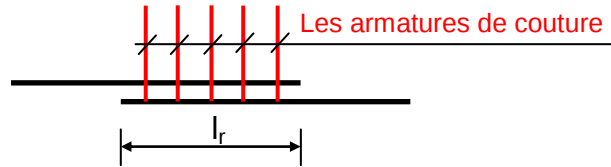


Fig. 5.14 : Couture des joints

Le diamètre des armatures de couture doit être choisi suffisamment petit pour assurer une bonne répartition de ces armatures tout au long de la jonction.

5.3.2 Barres rectilignes avec crochets normaux

Le façonnage du crochet normal se fait selon le model représenté sur la figure (Fig. 5.15).

a. Ronds lisses

- $l_r = 0.6 l_s = 30 \varnothing$

b. Aciers HA

- $l_r = 0.4 l_s$
- FeE400 $\Rightarrow l_r = 16 \varnothing$
- FeE500 $\Rightarrow l_r = 20 \varnothing$

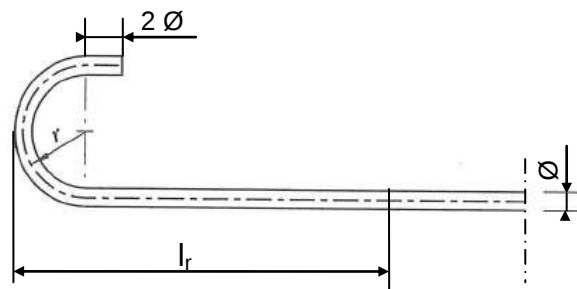


Fig. 5.15 : Façonnage du crochet normal

La figure Fig. 5.16 illustre les dispositions à prendre en plan et en élévation, en cas de recouvrements de barres terminées par des crochets normaux.

- Si $c \leq 5 \varnothing$:

$$l_r = 0.6 l_s \text{ ou } l_r = 0.4 l_s$$

- Si $c > 5 \varnothing$:

$$l_r = 0.6 l_s + c \text{ ou } l_r = 0.4 l_s + c$$

- **Couture des jonctions :**

$$\Sigma A_t \cdot f_{et} \geq \frac{1}{2} \Sigma A_s \cdot f_e$$

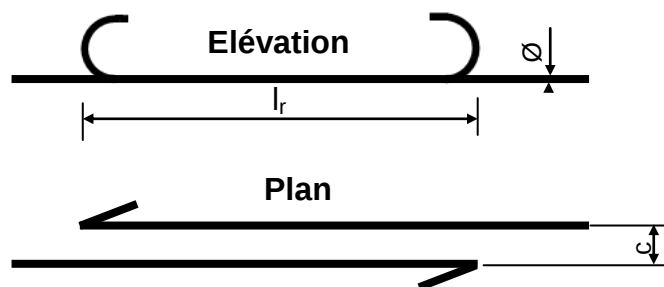


Fig. 5.16 : Jonction de barres tendues avec crochets normaux aux