

3. Adhérence Acier- Béton

3.1 Contrainte d'adhérence (A.6)

L'adhérence est un phénomène de liaison tangentielle à l'interface acier béton due au frottement et à l'arc-boutement des bielles de béton. Les règles à respecter sont relatives à l'Etat Limite Ultime.

Supposons une barre scellée dans un massif en béton. Si on exerce un effort d'arrachement suivant l'axe de la barre, on peut avoir trois modes de rupture :

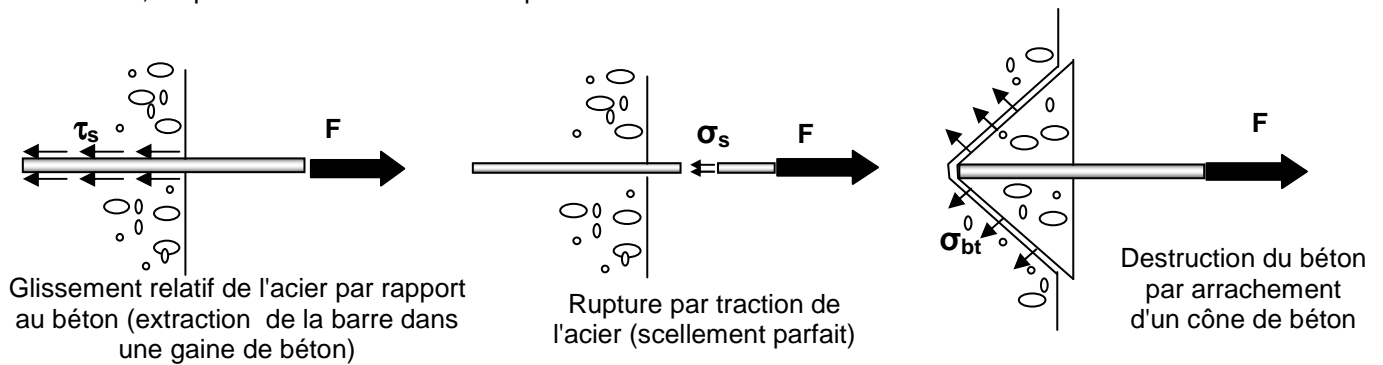


Fig.3.1 Essai d'arrachement d'une barre scellée dans un massif en béton

Dans le premier cas l'action du béton sur l'acier peut se décomposer en :

- Un effort perpendiculaire à la barre.
- Une composante tangentielle : la contrainte d'adhérence notée τ_s .

Dans le premier cas, si l'on suppose une répartition uniforme des contraintes tangente τ_s le long de la barre, l'équation d'équilibre s'écrit : $F = \tau_s \cdot \pi \cdot \Phi \cdot L$

La valeur limite ultime réglementaire de la contrainte d'adhérence est notée τ_{su} et vaut d'après le BAEL 91 A 6.1,21

$$\tau_{su} = 0,6 \cdot \Psi_s^2 \cdot f_{tj} \quad \text{avec } f_{tj} = 0,6 + 0,06 \cdot f_{cj} \text{ et } f_{tj} \text{ et } f_{cj} \text{ exprimés en MPa}$$

Ψ_s est le coefficient de scellement relatif à l'acier, selon sa nature lisse ou HA
 $\Psi_s = 1$ pour les aciers lisse
 $\Psi_s = 1,5$ pour les aciers HA

Exemple:

Pour une barre HA dans du béton de $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$, calculer τ_{su} .

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06 \times 25 = 2,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{su} = 0,6 \cdot 1,5^2 \cdot 2,1 = \mathbf{2,84 \text{ MPa}}$$

3.2 Longueur de scellement droit (A.6.1,221)

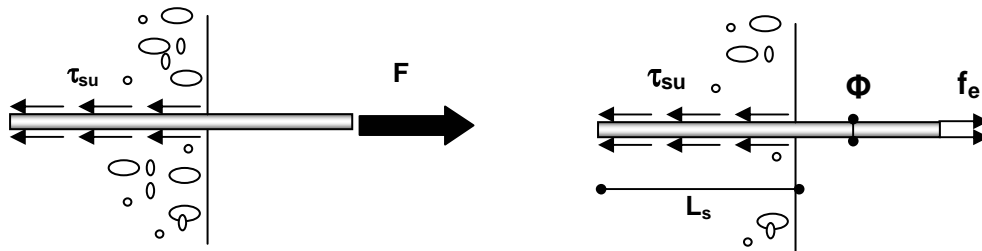


Fig.3.2 Ancrage droit et répartition des contraintes

La longueur de scellement droit, notée L_s , est la longueur sur laquelle il faut associer l'acier et le béton pour qu'à la sortie de l'ancrage, l'acier puisse travailler en traction à sa limite élastique f_e .

L'effort de traction dans la barre en traction simple est : $F = \text{section} \times \text{contrainte} = [\pi \cdot \Phi^2 / 4] \cdot f_e$
 Les contraintes d'adhérence supposées maximum et constantes le long de la barre ont pour résultante :

$$F = \pi \cdot \Phi \cdot L_s \cdot \tau_{su}$$

L'équilibre de la barre se traduit par

$$\pi \cdot \Phi \cdot L_s \cdot \tau_{su} = [\pi \cdot \Phi^2 / 4] \cdot f_e$$

$$\text{Soit } L_s = \Phi f_e / 4\tau_{su}$$

Exemple :

Calculer la longueur de scellement droit d'une barre HA de limite élastique $f_e = 500 \text{ MPa}$ dans un béton de résistance $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$.

Pour une barre HA dans un tel béton $\tau_{su} = 2,84 \text{ MPa}$ d'où

$$L_s = \Phi \cdot 500 / 4 \cdot 2,84 = 44\Phi$$

Soit pour une barre HA20, un scellement de 88cm

$L_s = 50\Phi$ est une valeur forfaitaire adoptée généralement pour les aciers HA à défaut de calculs plus précis (A.6.1,221)

Longueur de scellement droit dans le cas de PAQUET de BARRES

Une barre doit toujours être ancrée individuellement (A 6.1.21)

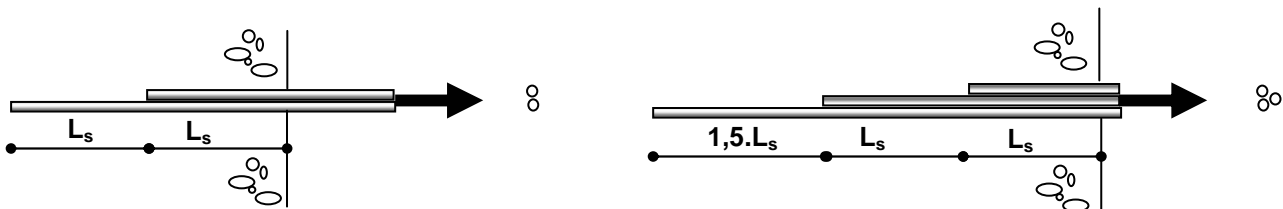


Fig.3.3 Disposition d'ancrage droit dans le cas de paquet de 2 ou 3 barres

3.3. Longueur de recouvrement des armatures tendues (A.6.1,223)

Dans certains cas, pour assurer la continuité de la transmission des efforts, il faut réaliser une jonction par recouvrement entre deux barres identiques sur une certaine longueur appelée "longueur de recouvrement" et notée " L_r ".

Si les barres sont espacées d'une distance « c » inférieure à 5 fois leur diamètre, la longueur de recouvrement, est égale à la longueur de scellement droit.

- L_r longueur de recouvrement
- L_s longueur de scellement droit
- Si $c < 5\Phi$ $L_r = L_s$
- Si $c > 5\Phi$ $L_r = L_s + c$

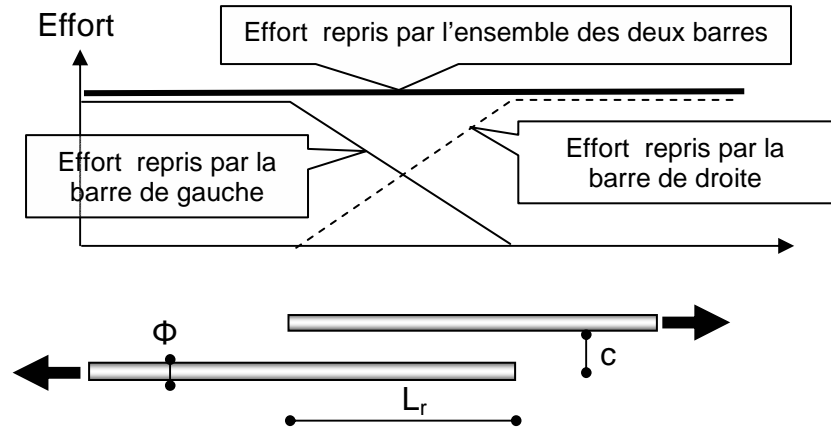


Fig 3.4 Recouvrement de barres

Si les barres sont espacées de plus de 5 fois leur diamètre, la transmission de l'effort d'une barre à l'autre se fait à travers des bielles de béton à 45° situées dans le plan des deux barres. La longueur de recouvrement est égale à la longueur de scellement droit plus la distance "c" entre les deux barres : $L_r = L_s + c$

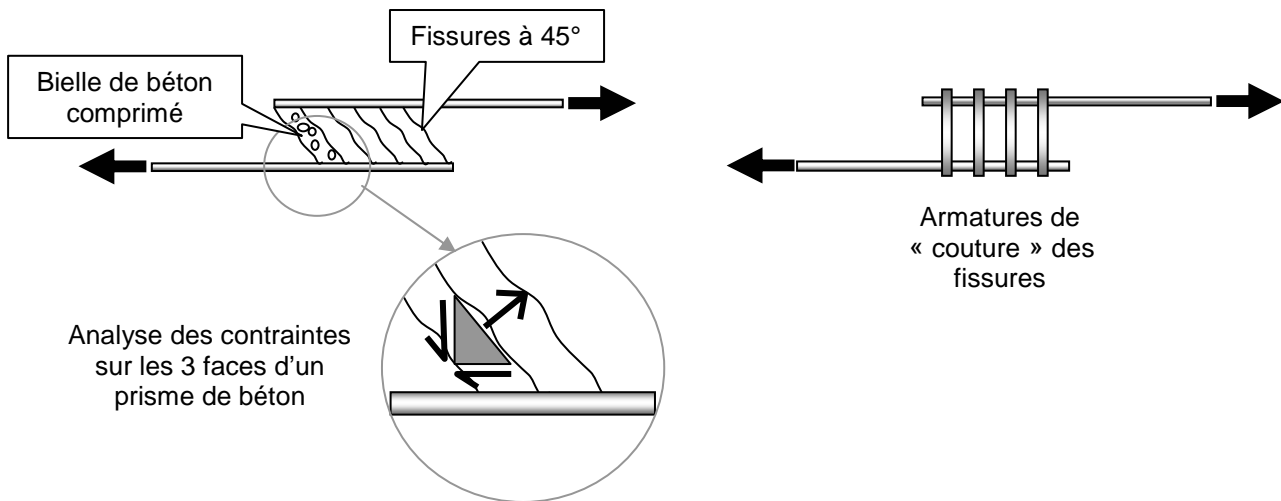


Fig.3.5 « Couture » des fissures dans le cas de barres espacées

L'équilibre d'un prisme de béton à 3 faces L montre qu'il y a un effort de cisaillement longitudinalement. Que cet effort est à l'origine de traction à 45°, et donc d'une distribution de bielle de béton comprimé à 45° qu'il faut couder entre elles par des armatures capables de résister à un effort F (A.6.1,23).

Exception : pas de couture dans les poutres si l'on recouvre moins d'un quart des aciers sur la longueur de scellement droit et si la longueur d'ancrage est égale à L_s .

Ancrage des treillis soudés à haute adhérence

La longueur de l'ancrage rectiligne d'un treillis soudé constitué de fils ou de barres HA s'obtient soit par calcul de la longueur de scellement droit soit en considérant l'"obstacle" des fils transversaux. Chaque soudure peut équilibrer un effort égal au plus au tiers de l'effort maximal de calcul s'exerçant sur un fil porteur et à la moitié pour un fil de répartition. L'ancrage total rectiligne est donc assuré par trois soudures pour un fil porteur et deux soudures pour un fil de répartition

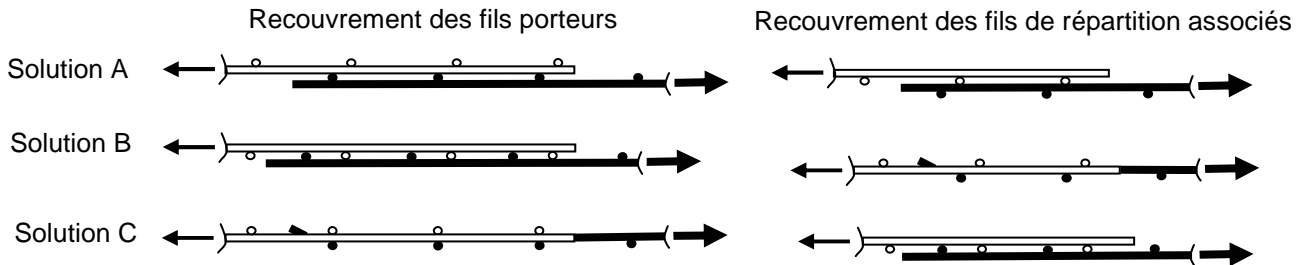
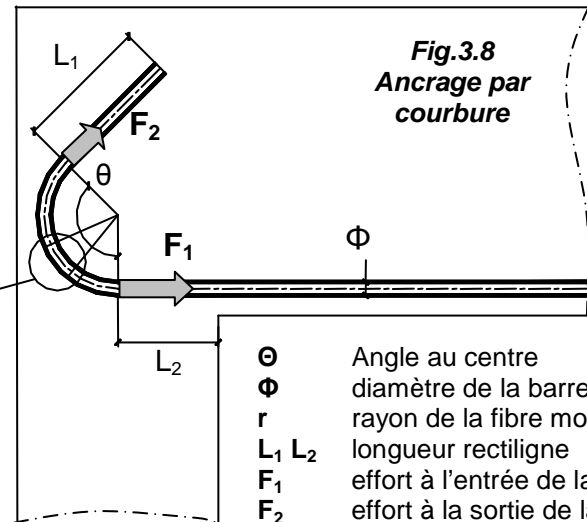
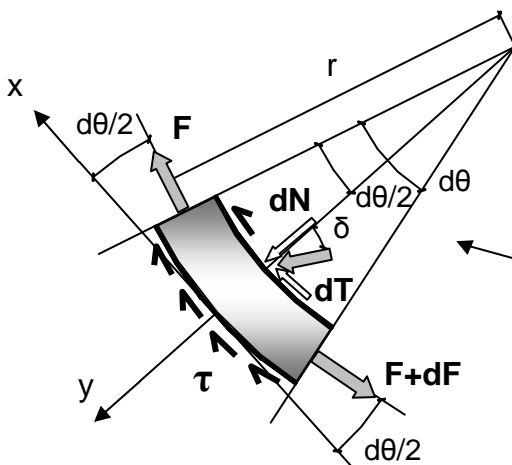


Fig. 3.6 Recouvrement des panneaux de treillis soudés

3.4 Ancrage par courbure (A.6.1,25)

Si on exerce un effort de traction sur un élément de barre courbe scellé dans le béton, la courbure de la barre donne naissance à un effort de frottement, fonction de la courbure de la barre et du coefficient de frottement acier sur béton, pris égal à 0,4. Cet effet est connu sous le nom "d'effet de courroie".

Fig.3.7 Equilibre d'un petit élément



θ	Angle au centre
ϕ	diamètre de la barre
r	rayon de la fibre moyenne
L_1 L_2	longueur rectiligne
F_1	effort à l'entrée de la courbure
F_2	effort à la sortie de la courbure
τ	contrainte d'adhérence

Si l'on isole un petit élément (voir Fig.3.6 et 3.7), le bilan des actions qu'il subit est le suivant:

$F+dF$	un effort axial de traction
F	un effort axial de traction
dN et dT	les composantes normale et tangente de l'action de contact du béton sur l'acier, inclinée de δ tel que $\text{tg } \delta = 0,4 = dT/dN$
$\pi \cdot \phi \cdot r \cdot d\theta \cdot \tau_{su}$	l'effet d'adhérence acier – béton, de contrainte τ_{su} et qui s'exerce le long de l'élément sur une aire égale à $\pi \cdot \phi \cdot r \cdot d\theta$

L'équilibre du petit élément donne le système d'équation suivant:

Equilibre sur X	$\pi \cdot \phi \cdot r \cdot d\theta \cdot \tau_{su} + 0,4 \cdot dN + F \cdot \cos d\theta/2 - (F+dF) \cdot \cos d\theta/2 = 0$
Equilibre sur Y	$dN - F \cdot \sin d\theta/2 - (F+dF) \cdot \sin d\theta/2 = 0$

$d\theta$ étant très petit, les cosinus sont approximés à 1 et les sinus à la valeur de l'angle en radian, d'où

$$\pi \cdot \Phi \cdot r \cdot d\theta \cdot \tau_{su} + 0,4 \cdot dN + F - (F+dF) = 0$$

$$dN - F \cdot d\theta/2 - (F+dF) \cdot d\theta/2 = 0$$

$dF \cdot d\theta$ est un infiniment petit du second ordre que l'on néglige devant les autres termes, d'où

$$\pi \cdot \Phi \cdot r \cdot d\theta \cdot \tau_{su} + 0,4 \cdot dN = dF$$

$$dN - F \cdot d\theta = 0$$

Soit

$$dN = F d\theta$$

$$\pi \cdot \Phi \cdot r \cdot d\theta \cdot \tau_{su} + 0,4 \cdot F d\theta = dF$$

$$dF/d\theta - 0,4F = \pi \cdot \Phi \cdot r \cdot \tau_{su}$$

Equation différentielle linéaire du premier ordre avec second membre dont les conditions aux limites sont $F=F_1$ à l'entrée de la courbure et $F=F_2$ à la sortie de la courbure. La solution de cette équation est:

$$F_2 = F_1 \cdot e^{-0,4\theta} - \pi \cdot \Phi \cdot r \cdot \tau_{su} [1 - e^{-0,4\theta}]/0,4 \quad \text{avec}$$

F_2 effort de traction à la sortie de l'ancrage courbe
 F_1 effort de traction à l'entrée de l'ancrage courbe
 θ angle au centre de la zone courbe de l'effort
 r rayon de courbure à l'axe de la barre
 Φ diamètre de la barre
 τ_{su} contrainte d'adhérence acier-béton à l'ELU

Pour les valeurs courantes de θ on donne les valeurs suivantes :

θ	90°	120°	135°	180°
	$\pi/2$	$2\pi/3$	$3\pi/4$	π
$e^{-0,4\theta}$	0,53	0,43	0,39	0,28
$(1 - e^{-0,4\theta})/0,4$	1,17	1,42	1,53	1,79

Application: Crochet à 135°

Déterminer la longueur droite CD pour que la barre soit totalement ancrée au point A

$\theta = 135^\circ$; $r = 5,5$. Φ , Barre HA16, $AB = 6\text{cm}$

$f_e = 500\text{ MPa}$; $f_{c28} = 25\text{ MPa}$; $\tau_{su} = 2,84\text{ MPa}$

Solution :

Il y aura ancrage total si en A l'acier travaille en traction à f_e .

L'effort à reprendre sera donc de

$$F_A = [\pi \cdot \Phi^2/4] \cdot f_e = \pi \cdot 0,016^2 \cdot 500/4 = 0,100\text{ MN}$$

L'effort en B sera plus faible du fait de l'adhérence le long de AB

$$F_B = F_A - \pi \cdot \Phi \cdot L_{AB} \cdot \tau_{su} = 0,100 - \pi \cdot 0,016 \cdot 0,06 \cdot 2,84 = 0,092\text{ MN}$$

L'effort en C est déterminé par l'équation de l'ancrage courbe

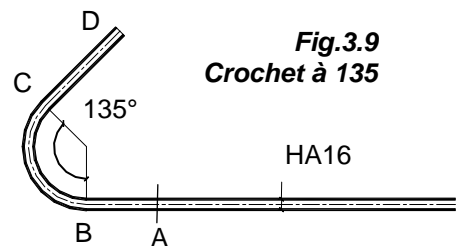
$$F_C = F_B \cdot e^{-0,4\theta} - \pi \cdot \Phi \cdot r \cdot \tau_{su} [1 - e^{-0,4\theta}]/0,4 = 0,092 \cdot 0,39 - \pi \cdot 0,016 \cdot 5,5 \cdot 0,016 \cdot 2,84 \cdot 1,53 = 0,0166\text{ MN}$$

La longueur droite CD doit donc permettre d'ancrer cet effort

$$\pi \cdot \Phi \cdot L_{CD} \cdot \tau_{su} = \pi \cdot 0,016 \cdot L_{CD} \cdot 2,84 = 0,0166 \quad \text{soit} \quad L_{CD} = 0,12\text{ m} = 12\text{ cm}$$

La longueur développée de l'ancrage courbe est $6 + 5,5 \cdot 1,6 \cdot 3 \cdot \pi/4 + 12 = 39\text{ cm}$

A comparer à la longueur nécessaire à un scellement droit $44 \Phi = 44 \cdot 1,6 = 70\text{ cm}$. Cette économie est due à l'effet de courroie.

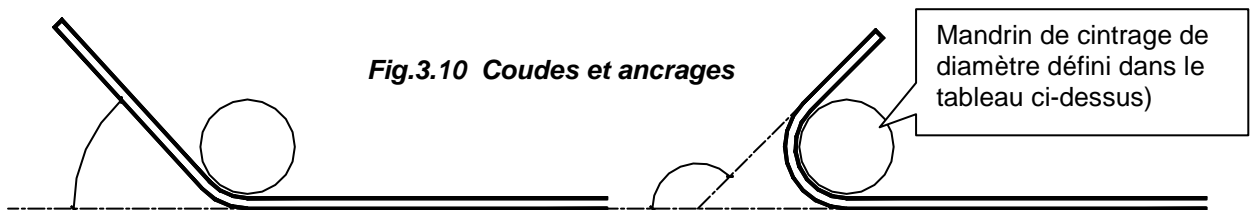


Rayons de courbure minimaux. (A.6.1,251)

Le rayon de courbure des ancrages courbes ne doit pas être inférieur à une valeur minimum pour deux raisons : d'une part ne pas avoir un allongement plastique trop important de la fibre la plus tendue de l'acier et d'autre part limiter la compression sur le béton dans la partie intérieure du crochet (composante dN précédente).

Valeurs des diamètres minimaux des mandrins de façonnage

HA	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	20	25	32	40
Cadre, étriers, épingles	20	20	30	30	30	40	40	50	70	100	150	Sans objet		
Ancrages	40	50	70	70	70	100	100	100	150	150	200	250	300	400
Coudes	Sans objet						150	200	200	250	300	400	500	500



Coudes = Façonnage en partie courante d'un élément d'armature permettant la transmission intégrale de l'effort de traction entre les deux parties droites adjacentes

Ancrage : Extrémité d'un élément d'armature comportant un façonnage prolongé d'une partie droite de longueur réglementaire et dans laquelle l'effort de traction décroît progressivement

Les angles courants sont 90° (crochet dit à retour d'équerre), 120°, 135° et 180°

Il existe ce que l'on appelle le crochet normal qui par définition comporte une partie en demi-cercle suivie d'un retour rectiligne d'une longueur égale à deux fois le diamètre de la barre (voir Fig.3.9). A défaut de calculs plus précis, on peut admettre que l'ancrage d'une barre rectiligne terminée par un crochet normal est assuré lorsque la longueur de la partie ancrée, mesurée hors crochet est au moins égale à :

- 0,6.L_s pour une barre lisse de classe Fe E 215 ou 235
- 0,4.L_s pour une barre à haute adhérence de classe Fe E 500

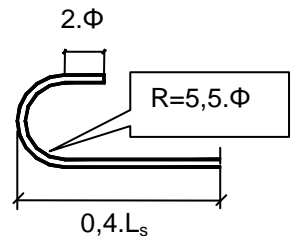


Fig.3.11 Le crochet normal

L'encombrement d'un ancrage à 180° pour une barre HA 20 en Fe E 500 est : 0,4. 50. 2 = 40 cm.

Dimensions des barres façonnées.

Rayon de courbure à l'axe de la barre : R
 Longueur développée de l'ancrage (θ en rad)
 $L_d = L_1 + R.θ + L_2$
 Longueur d'appui
 $D_2 = L_2 + R + Φ/2$

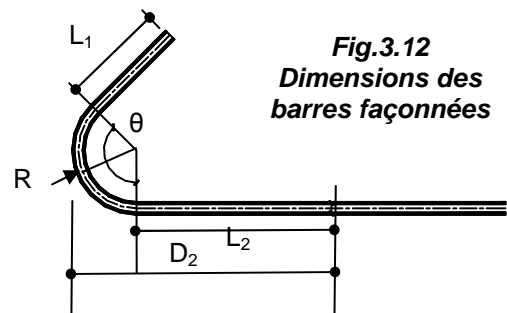


Fig.3.12
Dimensions des
barres façonnées

Ancrage des Cadres, Etriers, Epingles (A.6.1,255)

On admet que les ancrages des extrémités de barres façonnées en cadres, étriers, épingles sont assurés par courbure suivant le rayon minimal, si les parties courbes sont prolongées par des parties rectilignes au moins égales à:

- 5. Φ à la suite d'un arc de 180°
- 10. Φ à la suite d'un arc de 135°
- 15. Φ à la suite d'un arc de 90°

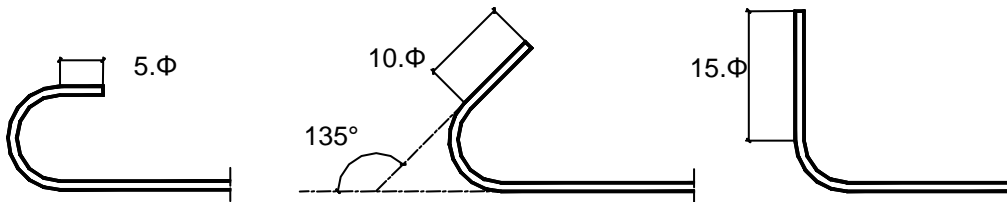


Fig.3.13 Ancrage des aciers transversaux

3.5. Cas des constructions en zone sismique

PS92 art.11.312

L'emploi de coudes ou crochets dans les pièces comprimées ou les parties comprimées des pièces fléchies est interdit. Toutefois en cas de nécessité (liaison avec une semelle de fondation, voisinage d'une surface libre, etc.), les ancrages d'extrémité peuvent être assurés au moyen de coudes à 90° .

PS92, art 11.313

Toutes les longueurs de recouvrement ou d'ancrage sont à majorer de 30% pour la part située hors zone critique et de 50% pour la part située dans la zone critique.

Rq : Les zones critiques sont le plus souvent les zones près des appuis (voir détails dans PS92).

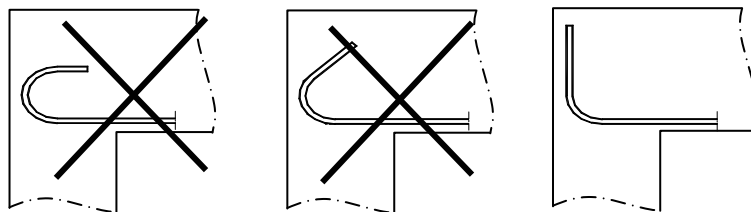


Fig 3.14 Ancrages en zone sismique

3.6. Problème de mise en oeuvre



Ancrage difficile...



Enrobage et adhérence très difficile...



Images Victor Davidovici

3.7. Applications

1. Ferrailage d'un tirant

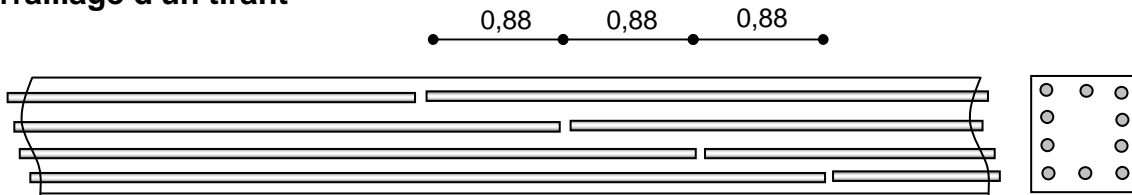


Fig 3.15 Tirant

Cette section de béton ($f_{c28} = 25\text{MPa}$) est ferrillée par 10 barres HA20 disposées comme indiqué sur le schéma. Justifier qu'elle est capable de résister à un effort de traction de

$$9 \cdot [\pi \cdot \Phi^2 / 4] \cdot f_e / \gamma_s = 9 \times \pi \cdot 0,02^2 / 4 \cdot 500 / 1,15 = 1,23\text{MN}$$

Solution :

A la traction seul l'acier travaille. A la jonction des barres disposées bout à bout, l'effort transite d'une barre à sa voisine sur une longueur de recouvrement. Les recouvrements sont décalés, pour que dans une section donnée de l'élément il n'y ait qu'un « recouvrement ». Le recouvrement est bien de 44 fois le diamètre de la barre. Il y a donc dans chaque section de l'élément toujours l'équivalent de 9 barres qui travaillent.

2. Chercher la longueur minimum d'encombrement du crochet 180° équivalent à un scellement droit.

Barre HA et $f_{c28} = 25\text{MPa}$.

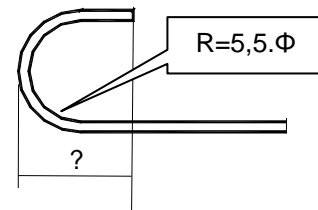


Fig 3.16 Ancrage à 180°

Solution :

Contrainte de scellement droit

$$\tau_{su} = 0,6 \cdot 1,5^2 \cdot (0,6 + 0,06 \times 25) = 2,84 \text{ MPa}$$

Efforts au point A, B, C et D :

$$F_D = 0 \quad (\text{extrémité libre de la barre})$$

$$F_C = \pi \cdot \Phi \cdot X \cdot \tau_{su} \quad (\text{ancrage droit entre D et C})$$

$$F_A = [\pi \cdot \Phi^2 / 4] \cdot f_e \quad (\text{effort de traction} = \text{section} \times \text{contrainte})$$

$$F_B = F_A - \pi \cdot \Phi \cdot X \cdot \tau_{su} \quad (\text{ancrage droit entre A et B})$$

Relation entre l'effort à la sortie et l'effort à l'entrée de la courbure:

$$F_C = F_B \cdot e^{-0,4\theta} - \pi \cdot \Phi \cdot r \cdot \tau_{su} [1 - e^{-0,4\theta}] / 0,4$$

$$F_C = F_B \cdot 0,28 - \pi \cdot \Phi \cdot r \cdot \tau_{su} \cdot 1,79$$

$$\pi \cdot \Phi \cdot X \cdot \tau_{su} = 0,28 \cdot (\pi \cdot \Phi^2 / 4] \cdot f_e - \pi \cdot \Phi \cdot X \cdot \tau_{su}) - \pi \cdot \Phi \cdot 5,5\Phi \cdot \tau_{su} \cdot 1,79$$

$$\pi \cdot \Phi \cdot X \cdot 2,84 = 0,28 \cdot \pi \cdot \Phi^2 \cdot 500 / 4 - 0,28 \cdot \pi \cdot \Phi \cdot X \cdot 2,84 - \pi \cdot \Phi \cdot 5,5\Phi \cdot 2,84 \cdot 1,79$$

en simplifiant par $\pi \cdot \Phi$

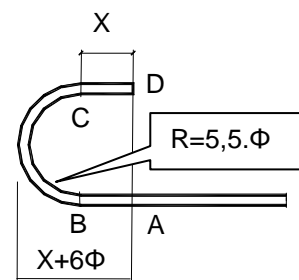
$$X \cdot 2,84 = 0,28 \cdot \Phi \cdot 500 / 4 - 0,28 \cdot X \cdot 2,84 - 5,5\Phi \cdot 2,84 \cdot 1,79$$

$$X (2,84 + 0,28 \cdot 2,84) = 0,28 \cdot \Phi \cdot 500 / 4 - 5,5\Phi \cdot 2,84 \cdot 1,79$$

$$X = 2\Phi$$

$$\text{Encombrement} = (6+2) \cdot \Phi = 8\Phi$$

$$\text{Longueur développée} = (2+2+5,5\pi) \cdot \Phi = 21\Phi < 44\Phi$$



3. Scellement d'une barre à la résine

On veut sceller une barre HA32 dans un massif en béton tel que $f_{c28} = 25\text{MPa}$. Pour cela on fore avec une caroteuse un trou de diamètre 40mm et de profondeur 30cm. La barre y est ensuite scellée avec de la résine. Le fournisseur de la résine indique qu'à l'état limite ultime la contrainte d'adhérence entre l'acier à haute adhérence et la résine est de 5MPa et entre la résine et ce béton de 3MPa.

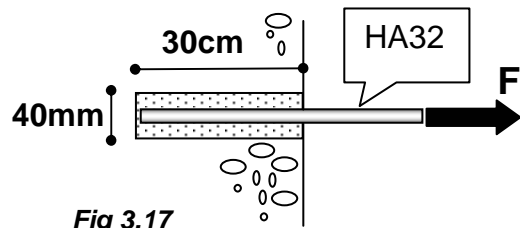
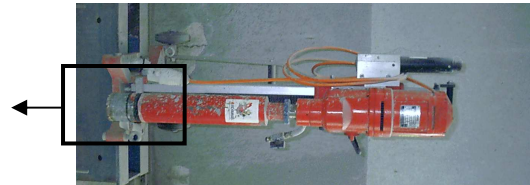
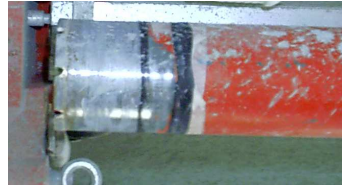


Fig 3.17

Fig.3.18 Photo d'une caroteuse



Quels sont les différents modes de rupture possible ? Déterminer la force maximum applicable à la barre.

Solution :

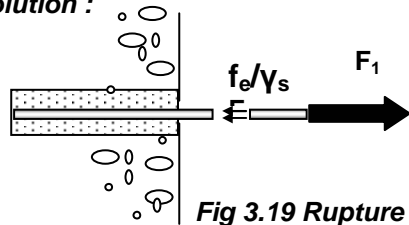


Fig 3.19 Rupture de l'acier

Rupture par traction de l'acier.

L'équilibre de la barre s'écrit :

$$F_1 = [\pi \cdot \Phi^2 / 4] \cdot f_e / \gamma_s$$

$$F_1 = [\pi \cdot 0,032^2 / 4] \cdot 500 / 1,15 = 0,350 \text{ MN}$$

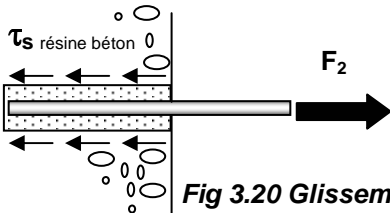


Fig 3.20 Glissement béton- résine

Glissement relatif de la résine par rapport au béton.

Equation d'équilibre

$$F_2 = \pi \cdot \Phi_{résine} \cdot L \cdot \tau_{SU \text{ résine béton}}$$

$$F_2 = \pi \cdot 0,040 \cdot 0,30 \cdot 3 = 0,113 \text{ MN}$$

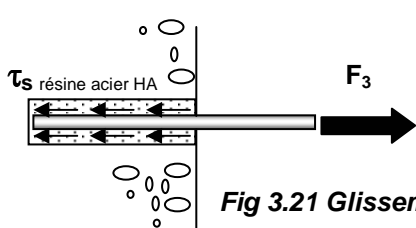


Fig 3.21 Glissement acier - résine

Glissement relatif de l'acier par rapport au béton.

Equation d'équilibre

$$F_3 = \pi \cdot \Phi_{acier} \cdot L \cdot \tau_{SU \text{ acier résine}}$$

$$F_3 = \pi \cdot 0,032 \cdot 0,30 \cdot 5 = 0,151 \text{ MN}$$

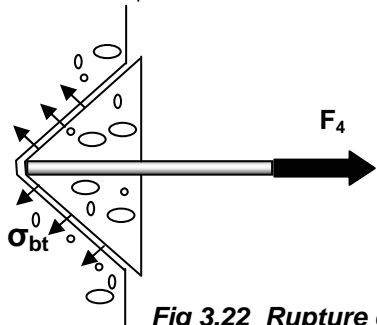


Fig 3.22 Rupture du béton

Destruction du béton par arrachement d'un cône de béton.

$F_4 = \text{surface du cône} \times \text{projection horizontale de } \sigma_{bt}$

D'après le cours la fissure est à 45°

$$F_4 = 2^{1/2} \cdot \pi \cdot 0,3^2 \cdot [2,1/1,5] \cdot [2^{1/2}/2] = 0,396 \text{ MN}$$

Remarque : Surface d'un cône à 45° de rayon $R = 2^{1/2} \cdot \pi \cdot R^2$

4. Appui d'about de poutre

Sachant que le poteau fait une largeur de 30cm, et que chaque barre HA20 arrivant sur l'appui doit y ancrer un effort de 100kN, et que le béton est tel que $f_{c28}=30\text{MPa}$, l'ancrage droit est-il satisfaisant ?

Solution :

$$f_{ij} = 0,6 + 0,06 \cdot f_{cj} = 0,6 + 0,06 \cdot 30 = 2,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{su} = 0,6 \cdot \psi_s^2 \cdot f_{ij} = 0,6 \cdot 1,5^2 \cdot 2,4 = 3,24 \text{ MPa}$$

Soit L la longueur nécessaire pour ancrer 0,100MN

$$F = \pi \cdot \Phi \cdot L \cdot \tau_{su}$$

$$0,100 = \pi \cdot 0,02 \cdot L \cdot 3,24$$

$$L = 0,49\text{m} > 0,30 - 0,03 \text{ donc un ancrage courbe est nécessaire}$$

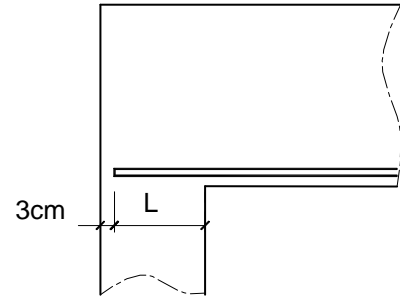


Fig 3.23 Appui d'about de poutre

5. QCM

• La longueur développée d'un ancrage courbe qui assure un ancrage total est comparativement à la longueur de scellement droit:

- Supérieur Inférieur Egale

• Le diamètre du mandrin de façonnage est supérieur à une valeur minimum pour :

- limiter le risque de fissuration de l'acier
- limiter la déformation plastique de l'acier
- limiter la compression du béton dans la courbure de la barre

• L'ordre de grandeur de la longueur de scellement droit d'une barre de diamètre 20mm est :

- 10cm 50cm 1m 2m

• La valeur ultime de la contrainte d'adhérence réglementaire dépend de :

- La nature lisse ou HA de l'acier
- La résistance du béton en traction
- La limite élastique de l'acier

• Pour assurer la continuité mécanique du ferrailage ci-dessous, on peut 'recouvrir' les barres sur un longueur de :

- $L_1 < L_{\text{scellement droit}}$
- $L_1 = L_{\text{scellement droit}}$
- $L_1 = 2 \cdot L_{\text{scellement droit}}$

- $L_2 < L_{\text{scellement droit}}$
- $L_2 = L_{\text{scellement droit}}$
- $L_2 = 2 \cdot L_{\text{scellement droit}}$

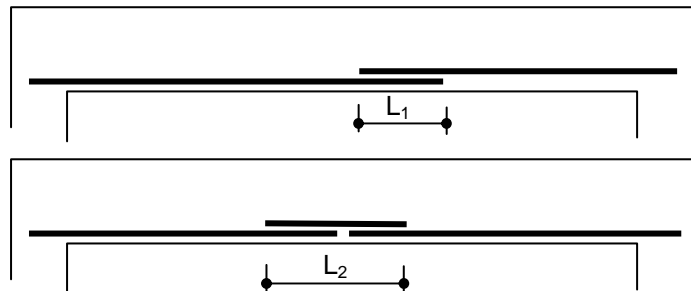


Fig 3.24 Recouvrement de barres

6. Abou Simbel. Egypte

Dans les années 60 le déplacement du temple d'Abou Simbel en haute Egypte nécessita le démontage et remontage d'éléments en grés. Le risque d'endommagement du parement n'a pas permis le soulèvement des blocs avec des sangles (voir fig. Solution A). Il est alors envisagé de forer le grés à un diamètre légèrement supérieur à celui d'une barre de scellement à haute adhérence (acier cranté). Puis de sceller la barre avec de la résine. Des essais sur la résine ont permis de définir les valeurs de contrainte limite d'adhérence à l'état limite ultime suivantes :

- entre l'acier à haute adhérence et la résine : 4 MPa
- entre le grés et la résine : 2,5 MPa

Autres données du problème :

- Volume du bloc 6,5 m³
- Masse volumique du grés 2 tonnes par m³
- Diamètre de la barre en acier 40mm
- Diamètre du trou 50mm
- Longueur du scellement 50 cm
- Limite élastique de l'acier 400 MPa (valeur courante dans les années 60)



Fig 3.24 Abou Simbel Egypte

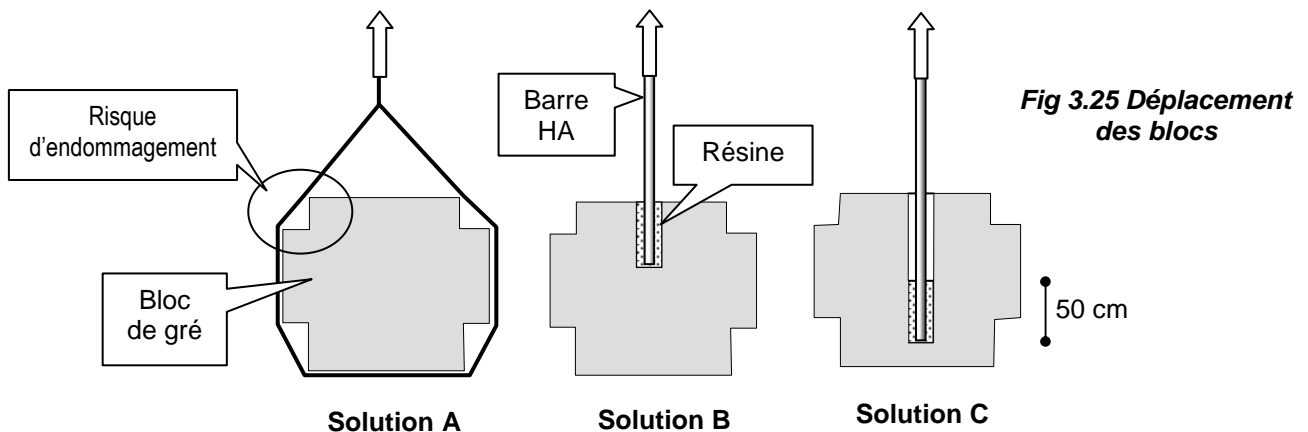


Fig 3.25 Déplacement des blocs

1. Expliquer pourquoi la faible résistance du grés en traction ne permet pas de retenir la solution B.

La solution C, finalement adoptée, consiste à forer un trou sur pratiquement toute la hauteur du bloc et de ne sceller la barre que sur les 50 premiers cm au fond du trou.

2. Vérifier que l'on peut ainsi effectivement soulever le bloc, en prenant un coefficient de sécurité de 1,5 sur la charge et 1,15 sur la limite élastique de l'acier (les coefficients de sécurité sur l'adhérence étant déjà intégrés dans les valeurs 1,5 et 5 MPa).

Solutions :

1. Il peut y avoir arrachement d'un cône de béton (voir figure ci contre)).

2. Vérification

Poids du bloc de béton

$$1,5 \times \text{Poids du bloc} = 1,5 \cdot 6,5 \cdot 2000 \cdot 9,81 \cdot 10^6 = \mathbf{0,191 \text{ MN}}$$

Effort maximum de traction dans la barre

$$F_1 = [\pi \cdot \Phi^2 / 4] \cdot f_{e, \text{acier}} / \gamma_s = [\pi \cdot 0,04^2 / 4] \cdot 400 / 1,15 = \mathbf{0,437 \text{ MN}}$$

Glissement entre résine et béton

$$F_2 = \pi \cdot \Phi_{\text{résine}} \cdot L \cdot \tau_{\text{SU résine béton}} = \pi \cdot 0,050 \cdot 0,5 \cdot 2,5 = \mathbf{0,196 \text{ MN}}$$

Glissement entre acier et béton

$$F_3 = \pi \cdot \Phi_{\text{acier}} \cdot L \cdot \tau_{\text{SU acier béton}} = \pi \cdot 0,04 \cdot 0,50 \cdot 4 = \mathbf{0,251 \text{ MN}}$$

On vérifie que 0,191 est inférieur à la plus petite des 3 valeurs F_1 , F_2 et F_3

