



Hall d'essai, I.U.T. Département génie civil, 19300 EGLETONS

Les modalités d'évaluation sont les suivantes :

- 1 note de Travaux Pratiques + 1 note de contrôle sur table. La moyenne du module sera calculée avec ces notes. Les coefficients respectifs sont $\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$
- Tous les documents de cours, de TD et de TP seront autorisés en contrôle des connaissances.
- Le contrôle de connaissances du module SST5 aura lieu en juin. Il est donc de la responsabilité de chaque étudiant de se préparer au mieux. Toutes les séances de TD sont déjà planifiées et vous aideront à organiser votre travail personnel.
- Le partiel, d'une durée de deux heures, permettra à chacun de valoriser son travail personnel sur les différentes thématiques abordées en cours. Les enseignants évalueront les copies, la correction aux questions du partiel sera faite individuellement sur la base de questions individuelles seulement.
- Un document format A3 présentant un plan de ferrailage de poutre en béton armé est fourni avec ce document. Il sert de support " fil rouge " de ce module. L'objectif est d'être capable de refaire le même document sur une étude de cas similaire en TD ou en partiel, en fin de semestre 2

Bibliographie :

- NF EN 1992-1-1 : <https://sagaweb.afnor.org/>
- AFCAB : Association Française de certification des armatures du béton, www.afcab.org
- CIM BETON Centre d'information sur le ciment et ses applications, www.infociments.fr
- Agence qualité construction : <http://www.qualiteconstruction.com/>
- Adhel : <http://moodle.egletons.unilim.fr/> rubrique Module / S2 / M2302 Bases du béton armé

INDEX DES ILLUSTRATIONS

| | |
|---|----|
| Illustration 1 : schéma de ferrailage de la poutre brevetée par Joseph MONIER en 1878..... | 8 |
| Illustration 2 : exemple de réalisation en béton armé bâclée en travaux neufs, avant livraison au maître d'ouvrage.... | 9 |
| Illustration 3 : mise en place d'une retombée de poutre préfabriquée de masse 3,5 tonnes..... | 17 |
| Illustration 4 : exemple d'aciers à verrous et d'aciers à empreinte..... | 17 |
| Illustration 5 : définition de l'enrobage [4.4.1]..... | 21 |
| Illustration 6 : phénomène d'adhérence autour d'une armature noyée dans le béton..... | 25 |
| Illustration 7 : dispositif d'essai de la poutre en travaux pratiques..... | 28 |
| Illustration 8 : développement des fissures dans la zone tendue d'une poutre fléchie..... | 30 |
| Illustration 9 : déformation importante des matériaux en zone tendue d'une poutre fléchie | 31 |
| Illustration 10 : flambement des aciers de montage en zone comprimée d'une poutre fléchie..... | 32 |
| Illustration 11 : rupture en traction des aciers tendus en partie inférieure d'une poutre fléchie..... | 32 |
| Illustration 12 : désignations géométriques des différentes zones d'une section droite en T _e sous une sollicitation de moment de flexion positive. Zone hachurée comprimée..... | 34 |
| Illustration 13 : section réelle et section de calcul à l'état limite ultime en zone de moment positif..... | 38 |
| Illustration 14 : diagrammes de déformations limites d'une section droite en zone de moment positif..... | 38 |
| Illustration 15 : espacements des armatures dans le béton..... | 46 |
| Illustration 16 : désignation géométrique des différentes zones d'une section droite en T _e sous moment positif..... | 50 |
| Illustration 17 : représentation des zones comprimées et tendues d'une poutre fléchie..... | 51 |
| Illustration 18 : ruine à l'effort tranchant d'une poutre fléchie non armée transversalement..... | 57 |
| Illustration 19 : modèle de treillis de RITTER pour $\alpha = 45^\circ$ et $\alpha = 90^\circ$ | 59 |
| Illustration 20 : valeur de calcul de l'effort tranchant agissant dans le cas d'un chargement réparti uniformément.... | 65 |
| Illustration 21 : épure de répartition des armatures transversales..... | 67 |
| Illustration 22 : décalage de la sollicitation agissante de flexion..... | 68 |
| Illustration 23 : ferrailage complet d'une poutre fléchie, épure d'arrêt des barres, épure de répartition..... | 73 |

INDEX DES TABLES

| | |
|--|----|
| Tableau III.1 : Caractéristiques de résistance et de déformation du béton [Tab. 3.1]..... | 12 |
| Tableau III.2 : Classe de ductilité des aciers à béton (EC2 : Annexe C)..... | 18 |
| Tableau IV.1 : Classes d'exposition en fonction des conditions d'environnement (EN 206-1) [Tab 4.1]..... | 20 |
| Tableau IV.2 : Classes indicatives de résistance [Tab E.1N]..... | 21 |
| Tableau IV.3 : Enrobage minimal $c_{min,b}$ requis vis à vis de l'adhérence [Tab 4.2]..... | 22 |
| Tableau IV.4 : Classification structurale recommandée [Tab 4.3N]..... | 23 |
| Tableau IV.5 : Valeurs de l'enrobage minimal $c_{min,dur}$ requis vis-à-vis la durabilité [Tab 4.4N]..... | 23 |
| Tableau V.1 : Diamètre minimal du mandrin afin d'éviter les dommages aux armatures [Tab 8.1N]..... | 26 |
| Tableau VI.1 : Valeurs de μ qui définissent la zone A1, A2, B1 ou B2 de la figure page 38..... | 42 |
| Tableau X.1 : longueur d'ancrage de référence $l_{b,rqd}$ [8.4.3] | 77 |
| Tableau X.2 : Valeurs des coefficients α_1 , α_2 , α_3 , α_4 et α_5 [Tab. 8.2]..... | 79 |
| Tableau X.3 : Valeur du coefficient α_6 | 81 |
| Tableau X.4 : longueurs de recouvrement requises pour les fils de répartition des treillis [Tab 8.4]..... | 84 |
| Tableau X.5 : Aires des sections d'aciers pour armatures Hautes Adhérence par diamètre (mm, cm ²)..... | 85 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| I. Liste des notations Eurocode 2..... | 5 |
| II. Le béton armé, un matériau et une technique de construction..... | 8 |
| 1. Le béton armé, historique..... | 8 |
| a. Le béton des inventeurs..... | 8 |
| b. Le béton des ingénieurs..... | 8 |
| 2. Le béton des constructeurs..... | 9 |
| 3. Pourquoi l'acier dans le béton ?..... | 9 |
| 4. Contexte réglementaire des calculs..... | 10 |
| a. Règlements antérieurs aux Eurocodes..... | 10 |
| b. Les Eurocodes..... | 10 |
| III. Les matériaux du béton armé..... | 11 |
| 1. Le béton..... | 11 |
| a. Comportement expérimental du matériau béton..... | 11 |
| b. Valeur de la résistance caractéristique à la compression d'un béton [3.1.2]..... | 11 |
| c. Valeur de la résistance caractéristique à la traction d'un béton [3.1.2]..... | 13 |
| d. Déformations élastiques du béton [3.1.3]..... | 13 |
| e. Relation contrainte déformation pour une analyse structurale non linéaire [3.1.5]..... | 14 |
| f. Résistance de calcul en compression et résistance de calcul en traction [3.1.6]..... | 14 |
| g. Relation contrainte déformation pour le calcul des sections [3.1.7]..... | 15 |
| h. Résistance à la traction en flexion [3.1.8]..... | 16 |
| 2. L'acier..... | 16 |
| a. Terminologie..... | 16 |
| b. Problématique des calculs d'aire d'armature dans le cadre d'un cours de béton armé..... | 16 |
| c. Forme de la surface latérale des armatures en acier..... | 17 |
| d. Propriétés des armatures de béton armé [3.2.2]..... | 18 |
| e. Hypothèses de calcul [3.2.7]..... | 18 |
| IV. Durabilité et enrobage des armatures..... | 19 |
| 1. généralités [4.1]..... | 19 |
| 2. Conditions d'environnement [4.2]..... | 19 |
| 3. Exigences de durabilité [4.3]..... | 21 |
| 4. Méthodes de vérification [4.4]..... | 21 |
| a. Calcul de l'enrobage [4.4.1]..... | 21 |
| b. Enrobage minimal, c_{min} [4.4.1.2]..... | 22 |
| c. Enrobage minimal $C_{min,b}$ requis vis à vis de l'adhérence..... | 22 |
| d. Enrobage minimal $C_{min,dur}$ requis vis-à-vis de la durabilité..... | 22 |
| e. Prise en compte des tolérances d'exécution Δc_{dev} [4.4.1.3]..... | 24 |
| V. association acier-béton..... | 25 |
| 1. Adhérence acier - béton..... | 25 |
| 2. Contexte réglementaire dans l' Eurocode 2..... | 26 |
| a. Ancrage des armatures longitudinales [8.3] et [8.4]..... | 26 |
| b. Différents modes d'ancrage des armatures..... | 27 |
| VI. Etat limite ultime..... | 28 |
| 1. Comportement expérimental d'une poutre en flexion simple..... | 28 |
| a. Matériels d'essai pour la flexion pure..... | 28 |
| b. Comportement des matériaux..... | 29 |
| 2. Charge de ruine réelle et charge de calcul, coefficient de sécurité global..... | 33 |
| 3. Poutre en béton armé, analyse structurale..... | 33 |
| a. Modèles structuraux pour l'analyse globale [5.3.1]..... | 33 |
| b. Données géométriques [5.3.2]..... | 33 |
| c. Portée utile des poutres et dalles dans les bâtiments [5.3.2.2]..... | 35 |
| 4. Notations utilisées, représentations graphiques, hypothèses de calcul à l'E.L.U. , réalité & modèles..... | 36 |
| a. Objectifs des calculs..... | 37 |
| b. Etat Limite Ultime, Hypothèses de calcul [6.1]..... | 37 |
| c. Économie..... | 40 |
| 5. Calcul de l'aire d'une section d'acier en flexion simple à l' E.L.U..... | 40 |
| a. Principe du calcul d'une section d'acier..... | 40 |
| b. Moment réduit limite μ | 42 |
| c. Démarche calculatoire de projet, organigramme général de la démarche de calcul..... | 43 |
| d. Organigramme général de la procédure de calcul des poutres à section rectangulaire..... | 44 |
| 6. Calcul de la sollicitation résistante d'une section droite en flexion simple : M_{Rd} | 45 |
| a. Calcul de la sollicitation résistante d'une section droite de poutre en béton armé..... | 45 |
| 7. Dispositions constructives (Eurocode 2, section 8)..... | 45 |
| a. Espacement des armatures de béton armé [8.2]..... | 45 |

| | | |
|-------|---|----|
| b. | Paquets de barres, diamètre équivalent [8.9]..... | 46 |
| c. | Ancrage des paquets de barres [8.9.2]..... | 47 |
| d. | Sections minimale : généralités [9.1]..... | 47 |
| e. | Sections minimale et maximale d'armatures [9.2.1.1]..... | 47 |
| f. | Sections minimales d'armatures [7.3.2]..... | 48 |
| g. | Armatures en zone tendues sur appuis [9.2.1.2]..... | 48 |
| h. | Ancrage des armatures inférieures au niveau des appuis d'extrémité [9.2.1.4]..... | 48 |
| i. | Armatures de peau [9.2.4]..... | 49 |
| VII. | Flexion simple à l'état limite ultime poutre en Té..... | 50 |
| 1. | Rappels, Données géométriques..... | 50 |
| 2. | Méthode de calcul des poutres en Té en zone de moment positif..... | 52 |
| a. | Dispositions constructives [9.2.1.1]..... | 54 |
| b. | Cisaillement entre l'âme et les membrures des sections en T..... | 54 |
| c. | Organigramme général de la procédure de calcul des poutres en Té..... | 55 |
| VIII. | Poutre en béton armé soumise à un effort tranchant..... | 56 |
| 1. | Introduction..... | 56 |
| a. | Comportement expérimental d'une poutre sous sollicitation de flexion et d'effort tranchant..... | 57 |
| b. | Modélisation en treillis de RITTER..... | 58 |
| 2. | Contexte réglementaire..... | 62 |
| a. | Procédure générale de vérification [6.2.1]..... | 62 |
| b. | Éléments pour lesquels aucune armature d'effort tranchant n'est requise [6.2.2]..... | 62 |
| c. | Éléments pour lesquels des armatures d'effort tranchant sont requises [6.2.3]..... | 63 |
| d. | Vérification de la contrainte de compression dans les bielles de béton..... | 64 |
| e. | Valeur de calcul de l'effort tranchant agissant VEd..... | 65 |
| f. | Répartition des armatures transversales, détermination des espacements..... | 67 |
| g. | Décalage de la courbe enveloppe des moments de flexion [9.2.1.3] (2)..... | 69 |
| 3. | dispositions constructives..... | 69 |
| a. | Armatures d'effort tranchant [9.2.2]..... | 70 |
| b. | Démarche calculatoire de projet :..... | 71 |
| c. | Organigramme général de la procédure de calcul..... | 72 |
| IX. | Ferrailage complet d'une poutre fléchie en flexion simple..... | 73 |
| X. | ANNEXES..... | 75 |
| 1. | Avantages et inconvénients du matériau Béton armé..... | 75 |
| 2. | Fiche module SST 5 PPN IUT Génie civil Construction Durable..... | 76 |
| 3. | Calcul des longueurs d'ancrage..... | 77 |
| a. | Contrainte ultime d'adhérence [8.4.2]..... | 77 |
| b. | Longueur d'ancrage de référence [8.4.3]..... | 78 |
| c. | Longueur d'ancrage de calcul [8.4.4]..... | 79 |
| d. | Ancrage des armatures d'effort tranchant et autres armatures transversales [8.5]..... | 80 |
| e. | Ancrage au moyen de barres soudées [8.6]..... | 81 |
| f. | Recouvrements et coupleurs [8.7]..... | 81 |
| g. | Recouvrements et longueur de recouvrement [8.7.2] et [8.7.3]..... | 82 |
| h. | Armatures transversales dans une zone de recouvrement [8.7.4]..... | 83 |
| i. | Recouvrements des treillis soudés constitués de fils à haute adhérence [8.7.5]..... | 84 |
| j. | Règles supplémentaires pour les barres de gros diamètre [8.8]..... | 85 |
| k. | Paquets de barres [8.9]..... | 85 |
| 4. | Choix des sections d'armatures, nombre de barres par lit, diamètre nominal et réel..... | 86 |
| a. | Aires des sections d'acier pour armatures Haute Adhérence...tableau à compléter..... | 86 |
| b. | Diamètre moyen..... | 86 |
| c. | Nombre de barres par lit..... | 87 |
| d. | Moment réduit limite..... | 88 |
| XI. | Applications numériques..... | 89 |
| 1. | Principe de ferrailage d'une poutre (TD N°1)..... | 89 |
| 2. | Flexion simple à l'État Limite Ultime (TD N°2)..... | 90 |
| a. | Étude de cas N°1, section droite rectangulaire..... | 90 |
| b. | Étude de cas N°2, section droite en Té..... | 91 |
| c. | Étude de cas N°3, poutre de travaux pratiques..... | 93 |
| 3. | Effort tranchant..... | 95 |
| a. | Armatures d'effort tranchant au voisinage des appuis..... | 95 |
| b. | Répartition des armatures transversales..... | 97 |

I. LISTE DES NOTATIONS EUROCODE 2

Les notations utilisées dans l' **EUROCODE 2** sont présentées dans la section 1 article [1.6]. Elles sont fondées sur la norme ISO 3898 :1987.

Majuscules latines

- **A** Action accidentelle
- **A** Aire de la section droite
- **A_c** Aire de la section droite du béton
- **A_p** Aire de la section de l'armature ou des armatures de précontrainte
- **A_s** Aire de la section des armatures de béton armé
- **A_{s,min}** Aire de la section minimale d'armatures
- **A_{sw}** Aire de la section des armatures d'effort tranchant
- **D** Diamètre du mandrin de cintrage
- **D_{Ed}** Endommagement total dû à la fatigue
- **E** Effet des actions
- **E_c, E_{c(28)}** Module d'élasticité tangent à l'origine ($\sigma_c = 0$) pour un béton de masse volumique normale à 28 jours
- **E_{c,eff}** Module d'élasticité effectif du béton
- **E_{cd}** Valeur de calcul du module d'élasticité du béton
- **E_{cm}** Module d'élasticité sécant du béton
- **E_{c(t)}** Module d'élasticité tangent à l'origine ($\sigma_c = 0$) au temps t pour un béton de masse volumique normale
- **E_p** Valeur de calcul du module d'élasticité de l'acier de précontrainte
- **E_s** Valeur de calcul du module d'élasticité de l'acier de béton armé
- **EI** Rigidité en flexion
- **EQU** Equilibre statique
- **F** Action
- **F_d** Valeur de calcul d'une action
- **F_k** Valeur caractéristique d'une action
- **G_k** Valeur caractéristique d'une action permanente
- **I** Moment d'inertie de la section de béton
- **L** Longueur
- **M** Moment fléchissant
- **M_{Ed}** Valeur de calcul du moment fléchissant agissant
- **N** Effort normal
- **N_{Ed}** Valeur de calcul de l'effort normal agissant (traction ou compression)
- **P** Force de précontrainte
- **P₀** Force initiale à l'extrémité active de l'armature de précontrainte immédiatement après la mise en tension
- **Q_k** Valeur caractéristique d'une action variable
- **Q_{fat}** Valeur caractéristique de la charge de fatigue
- **R** Résistance
- **S** Efforts et moments internes (solllicitations)
- **S** Moment statique
- **SLS** Etat-limite de service (ELS)
- **T** Moment de torsion
- **T_{Ed}** Valeur de calcul du moment de torsion agissant
- **ULS** Etat-limite ultime (ELU)
- **V** Effort tranchant
- **V_{Ed}** Valeur de calcul de l'effort tranchant agissant

Minuscules latines

- **a** Distance
- **a** Donnée géométrique
- **Δa** Tolérance pour les données géométriques
- **b** Largeur totale d'une section droite ou largeur réelle de la table d'une poutre en T ou en L
- **b_w** Largeur de l'âme des poutres en T, en I ou en L
- **c_{nom}** Enrobage nominal d'une armature
- **d** Diamètre ; Profondeur
- **d** Hauteur utile d'une section droite fléchie
- **d_g** Dimension nominale supérieure du plus gros granulats
- **e** Excentricité
- **f_c** Résistance en compression du béton
- **f_{cd}** Valeur de calcul de la résistance en compression du béton
- **f_{ck}** Résistance caractéristique en compression du béton, mesurée sur cylindre à 28 jours
- **f_{cm}** Valeur moyenne de la résistance en compression du béton, mesurée sur cylindre
- **f_{ctk}** Résistance caractéristique en traction directe du béton
- **f_{ctm}** Valeur moyenne de la résistance en traction directe du béton
- **f_p** Résistance en traction de l'acier de précontrainte
- **f_{pk}** Résistance caractéristique en traction de l'acier de précontrainte
- **$f_{p0,1}$** Limite d'élasticité conventionnelle à 0,1 % de l'acier de précontrainte
- **$f_{p0,1k}$** Valeur caractéristique de la limite d'élasticité conventionnelle à 0,1 % de l'acier de précontrainte
- **$f_{0,2k}$** Valeur caractéristique de la limite d'élasticité conventionnelle à 0,2 % de l'acier de béton armé
- **f_t** Résistance en traction de l'acier de béton armé
- **f_{tk}** Résistance caractéristique en traction de l'acier de béton armé
- **f_y** Limite d'élasticité de l'acier de béton armé
- **f_{yd}** Limite d'élasticité de calcul de l'acier de béton armé
- **f_{yk}** Limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé
- **f_{ywd}** Limite d'élasticité de calcul des armatures d'effort tranchant
- **h** Hauteur
- **h** Hauteur totale de la section droite
- **i** Rayon de giration
- **k** Coefficient ; Facteur
- **l** (ou **l** ou **L**) Longueur ; Portée
- **m** Masse
- **n** Coefficient
- **r** Rayon
- **$1/r$** Courbure en une section donnée
- **t** Epaisseur
- **t** Instant considéré
- **t_0** Age du béton au moment du chargement
- **u** Périmètre de la section droite de béton dont l'aire est A_c
- **u,v,w** Composantes du déplacement d'un point
- **x** Profondeur de l'axe neutre
- **x,y,z** Coordonnées
- **z** Bras de levier des forces internes

Minuscules grecques

- α Angle ; Rapport
- β Angle ; Rapport ; Coefficient
- γ Coefficient partiel
- γ_A Coefficient partiel relatif aux actions accidentelles A
- γ_C Coefficient partiel relatif au béton
- γ_F Coefficient partiel relatif aux actions F
- $\gamma_{C,fat}$ Coefficient partiel relatif à la fatigue du béton
- $\gamma_{F,fat}$ Coefficient partiel relatif aux actions de fatigue
- γ_G Coefficient partiel relatif aux actions permanentes G
- γ_M Coefficient partiel relatif à une propriété d'un matériau, tenant compte des incertitudes sur la propriété elle-même, sur les imperfections géométriques et sur le modèle de calcul utilisé
- γ_P Coefficient partiel relatif aux actions associées à la précontrainte P
- γ_Q Coefficient partiel relatif aux actions variables Q
- γ_S Coefficient partiel relatif à l'acier de béton armé ou de précontrainte
- $\gamma_{S,fat}$ Coefficient partiel relatif à l'acier de béton armé ou de précontrainte sous chargement de fatigue
- γ_f Coefficient partiel relatif aux actions, compte non tenu des incertitudes de modèle
- γ_g Coefficient partiel relatif aux actions permanentes, compte non tenu des incertitudes de modèle
- γ_m Coefficient partiel relatif à une propriété d'un matériau, seules les incertitudes sur la propriété du matériau étant prises en compte
- δ Incrément / coefficient de redistribution
- ζ Coefficient de réduction / coefficient de distribution
- ϵ_c Déformation relative en compression du béton
- ϵ_{c1} Déformation relative en compression du béton au pic de contrainte f_c
- ϵ_{cu} Déformation relative ultime du béton en compression
- ϵ_u Déformation relative de l'acier de béton armé ou de précontrainte sous charge maximale
- ϵ_{uk} Valeur caractéristique de la déformation relative de l'acier de béton armé ou de précontrainte sous charge maximale
- θ Angle
- λ Coefficient d'élançement
- μ Coefficient de frottement entre les armatures de précontrainte et leurs conduits
- ν Coefficient de Poisson
- ν Coefficient de réduction de la résistance du béton fissuré en cisaillement
- ξ Rapport de la capacité d'adhérence des armatures de précontrainte à la capacité d'adhérence des armatures de béton armé
- ρ Masse volumique du béton séché en étuve, en kg/m^3
- ρ_{1000} Valeur de la perte par relaxation (en %), 1 000 heures après la mise en tension, à une température moyenne de 20°C
- ρ_l Pourcentage d'armatures longitudinales
- ρ_w Pourcentage d'armatures d'effort tranchant
- σ_c Contrainte de compression dans le béton
- σ_{cp} Contrainte de compression dans le béton due à un effort normal ou à la précontrainte
- σ_{cu} Contrainte de compression dans le béton correspondant à la déformation ultime en compression ϵ_{cu}
- τ Contrainte tangente de torsion
- ϕ Diamètre d'une barre d'armature ou d'une gaine de précontrainte
- ϕ_n Diamètre équivalent d'un paquet de barres
- $j(t, t_0)$ Coefficient de fluage, définissant le fluage entre les temps t et t_0 , par rapport à la déformation élastique à 28 jours
- $j(\infty, t_0)$ Valeur finale du coefficient de fluage
- ψ Coefficients définissant les valeurs représentatives des actions variables ψ_0 pour les valeurs de combinaison, ψ_1 pour les valeurs fréquentes et ψ_2 pour les valeurs quasi-permanentes

V. ASSOCIATION ACIER-BÉTON

1. Adhérence acier - béton

Dans une pièce en béton armé des sollicitations internes existent par l'effet des actions. Les actions ne sont pas appliquées directement aux aciers mais au béton. La transmission des efforts auxquels ces aciers doivent résister suppose qu'ils restent solidaires de la gaine de béton qui les enrobe.

L'adhérence est l'action des forces de liaison qui s'opposent au glissement des aciers dans la gaine de béton. C'est le phénomène fondamental du béton armé. Cette adhérence disparaît par glissement de l'armature en acier dans le béton ou par l'apparition de fissures longitudinales parallèles à l'armature.

L'adhérence est parfaite lorsqu'il n'y a pas de glissement relatif acier béton, il y a alors compatibilité des déformations puisque l'adhérence permise par un bon enrobage assure un travail simultané des deux matériaux.

C'est un Ingénieur Français qui a le premier décrit le phénomène d'adhérence sous la forme admise aujourd'hui : Albert **CAQUOT**.

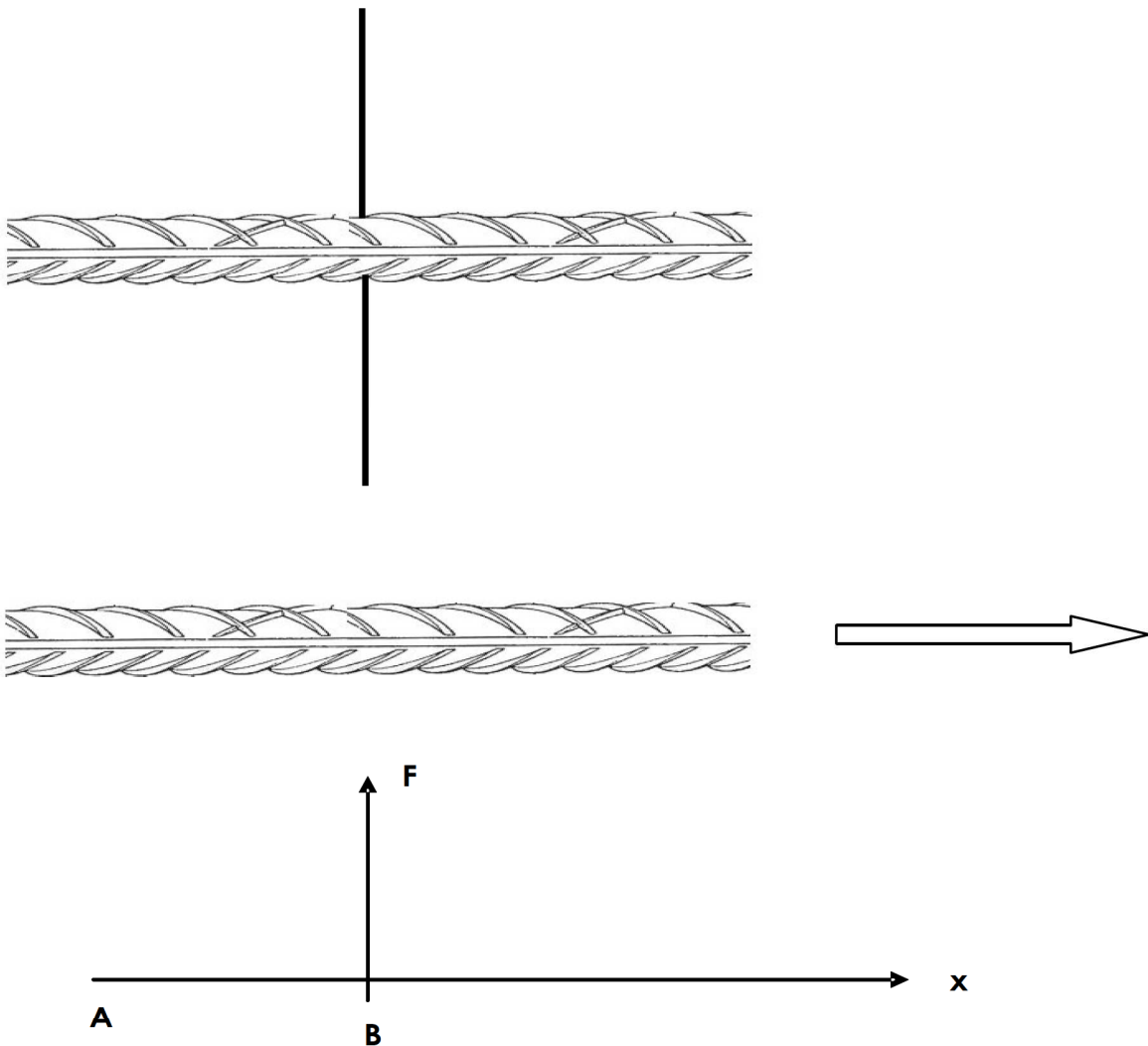


Illustration 6 : phénomène d'adhérence autour d'une armature noyée dans le béton

Un effort d'arrachement produit sur une barre d'acier noyée dans un massif de béton développe des forces de frottement à l'interface acier béton. Des bielles de béton inclinées et de surface conique apparaissent. L'action du béton sur la barre d'acier est modélisée par une contrainte normale et une contrainte tangentielle.

2. Contexte réglementaire dans l' Eurocode 2

a. Ancrage des armatures longitudinales [8.3] et [8.4]

L'ancrage d'une armature peut être réalisé par scellement droit, ou par ancrage courbe. Lorsque l'encombrement d'un ancrage par scellement droit est excessif pour être mis en œuvre, alors on a recours aux ancrages courbes. Afin d'éviter toute fissuration de l'armature par flexion excessive lors de son façonnage elle est pliée avec un mandrin adapté si on souhaite l'ancrer par crochet, coude ou boucle.

Diamètres admissibles des mandrins de cintrage pour les barres pliées [8.3]

(1)P Le diamètre de courbure minimal des barres doit être tel qu'il évite toute fissure de flexion dans l'armature ainsi que toute rupture du béton situé dans la partie courbe de celle-ci.

(2) Afin d'éviter d'endommager les armatures, il convient de plier la barre avec un mandrin de diamètre supérieur ou égal à $\phi_{m,min}$.

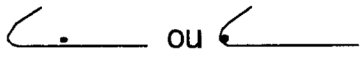
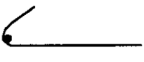
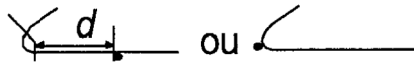
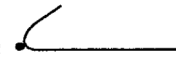
NOTE : Les valeurs de $\phi_{m,min}$ à utiliser dans un pays donné peuvent être fournies par son Annexe Nationale. Les valeurs recommandées sont données dans le Tableau 8.1N.

Tableau V.1 : Diamètre minimal du mandrin afin d'éviter les dommages aux armatures [Tab 8.1N]

a) barres et fils

| Diamètre de la barre | Diamètre minimal du mandrin dans le cas des coudes, crochets ou boucles (voir Figure 8.1) |
|---------------------------|---|
| $\phi \leq 16 \text{ mm}$ | 4ϕ |
| $\phi > 16 \text{ mm}$ | 7ϕ |

b) assemblages soudés (barres et treillis) pliés après soudage

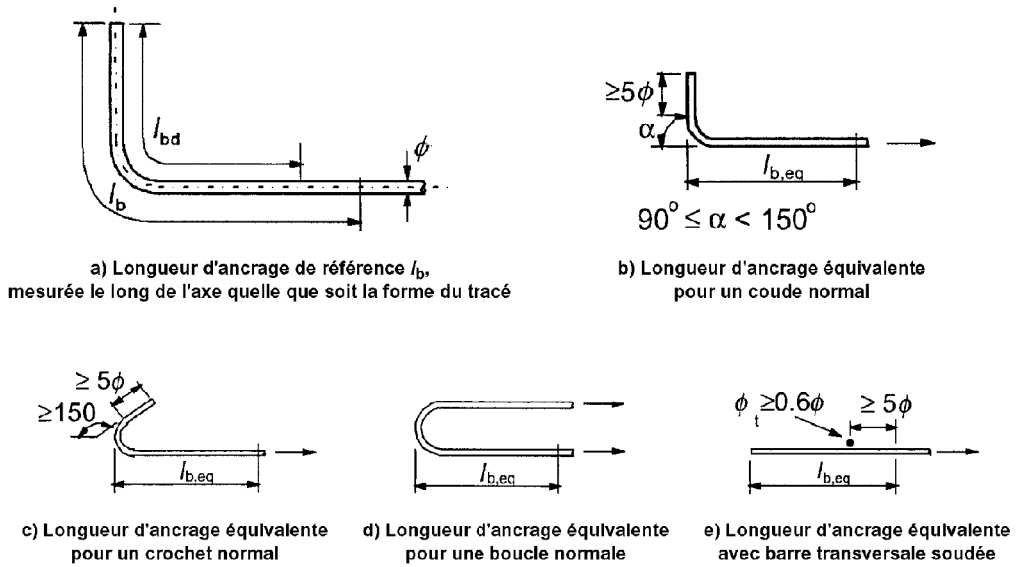
| Diamètre minimal du mandrin | |
|--|--|
|  ou  |  ou  |
| 5ϕ | $d \geq 3 \phi :$ 5ϕ $d < 3 \phi$ ou soudure dans la partie courbe : 20ϕ |
| NOTE Dans le cas de soudures situées dans la partie courbe, le diamètre du mandrin peut être réduit à 5ϕ lorsque le soudage est effectué conformément à l'EN ISO 17660 Annexe B. | |

b. Différents modes d'ancrage des armatures

(1)P Les barres, fils ou treillis soudés doivent être ancrés de manière à assurer une bonne transmission des forces d'adhérence au béton, en évitant toute fissuration longitudinale ainsi que tout éclatement du béton. Un ferrailage transversal est à prévoir si nécessaire.

(2) Différents modes d'ancrage sont illustrés par la Figure 8.1 (voir aussi 8.8 (3)).

Figure 8.1 Méthodes d'ancrage autres que le scellement droit



(3) Les coudes et les crochets ne contribuent pas aux ancrages des barres comprimées.

(5) Lorsque des dispositifs mécaniques sont utilisés, il convient que les exigences d'essai soient conformes à la Norme de Produit concernée ou à un Agrément Technique Européen.

Le calcul à proprement parler des longueurs d'ancrage est détaillé en Annexe page 77.