



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 Té 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 Té 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
- **t₀** 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

II. LE BÉTON ARMÉ, UN MATÉRIAU ET UNE TECHNIQUE DE CONSTRUCTION

1. Le béton armé, historique

Dans le langage courant le terme «béton armé» désigne aussi bien le procédé constructif que le matériau lui-même, sans distinction. Ainsi il est fait allusion aux constructions en béton armé par opposition aux constructions métalliques ou en bois. Le béton armé est aussi considéré comme un matériau à part entière.

a. Le béton des inventeurs

Il est admis en France que l'année 1849 marque la naissance du ciment armé à laquelle sont attachés les noms de Joseph **LAMBOT** et de Joseph **MONIER**. L'invention du ciment armé ne peut cependant pas être assimilée à celle du béton armé. Bien qu'il existe un lien évident entre les deux matériaux, ils ne procèdent pas de la même logique constructive.

Le ciment armé employé à ses débuts en faible épaisseur pour envelopper et contenir devient par la suite, avec une adaptation de sa formulation, un matériau de structure rigide pour franchir et porter: le béton armé.

S'ouvre dès lors une période, dans l'histoire de l'industrie de la construction et des techniques en général, qui va voir se développer le potentiel architectural des maîtres d'œuvre. Les portées franchies augmentent considérablement avec ce matériau dont l'intérêt tout particulier tient à la fois dans son mode opératoire de mise en œuvre et sa disponibilité. Le béton armé est constitué de matériaux de base tous disponibles en EUROPE et en FRANCE, il est par ailleurs moulable sur chantier.

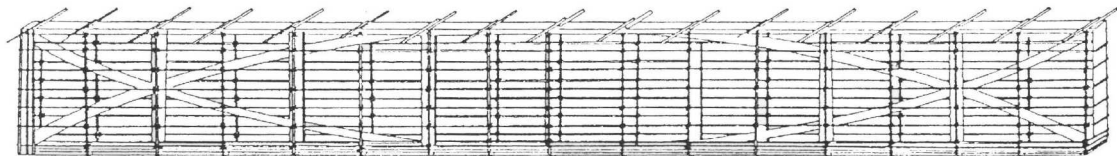


Illustration 1: schéma de ferrailage de la poutre brevetée par Joseph MONIER en 1878

Un des mérites de **Joseph MONIER** est d'avoir su, en partant de son matériau de paroi, créer un système adapté aux ossatures porteuses : le béton armé. Et cela sans s'embarrasser de préjugés conceptuels liés aux limites intrinsèques des matériaux de base. A savoir, la résistance en traction médiocre du béton en traction et le flambement des barres d'acier comprimées.

L'ensemble des paramètres variables permettant d'assurer sa durabilité à une structure en béton armé ne peut être mis en équation que par des spécialistes.

b. Le béton des ingénieurs

Parmi les noms illustres qui comprirent rapidement les multiples intérêts du procédé béton armé, né avec les avancées de Joseph MONIER : Wilhem **RITTER**, Emile **MÖRSCH**, **HENNEBIQUE**, Louis **VICAT**, Eugène **FREYSSINET**...

Les raisons des difficultés de mise en œuvre des codes de calcul sont liées à la complexité même du nouveau matériau. Des armatures en acier noyées dans un mélange en proportions variables de ciment, de matériaux granulaires et d'eau. Voilà bien de quoi dérouter les premiers calculateurs qui adoptaient les lois de comportement de l'acier à ce nouveau venu.

Deux points majeurs bloquent la réflexion : La question des coefficients de dilatation thermique des matériaux et celle fondamentale de l'adhérence des deux matériaux.

C'est en 1890 (50 ans après les premières poutres en béton armé) que le laboratoire des ponts et chaussées admet l'identité des coefficients de dilatation thermique. L'autre question très discutée trouve en partie naissance dans la difficulté qu'ont les aciéries à produire des aciers de qualité constante. En 1870 un brevet déposé propose d'introduire de la colle dans le béton, afin d'assurer la nécessaire adhérence acier-béton !

2. Le béton des constructeurs

Sous l'impulsion des travaux du FRANÇAIS François **HENNEBIQUE** (1842-1921) le matériau béton armé voit son utilisation évoluer considérablement. Il sera un des premiers à réaliser un plancher autoporteur en béton armé.

Les bases du calcul sont posées en 1900 par Edmond COIGNET, les premiers cours de béton armé sont déjà donnés depuis 1898 à l'École Nationale des Ponts et Chaussées. C'est à cette époque que le béton armé voit son exploitation industrielle généralisée, certes sans commune mesure avec les avancées que nous connaissons mais deux points évoluent rapidement dès 1900 :

L'acier voit sa qualité de fabrication croître et la quantité produite augmenter durant la même période, des formes variées apparaissent (treillis, barre lisses, aciers crantés). Le béton frais présente une particularité remarquable pour un matériau de construction moderne : il est moulable à température ambiante.

3. Pourquoi l'acier dans le béton ?

Le béton non armé n'est pas capable d'équilibrer les contraintes de traction qui se développent au sein des structures courantes de génie civil ou de bâtiment. La pièce en béton non armé soumise à des contraintes de traction même faibles fissure. En effet, la matrice cimentaire ne résiste pas suffisamment pour cela, des fissures apparaissent rapidement, menaçant la pérennité de tout ou partie de la structure. Le danger d'une structure non armée tient alors dans son comportement fragile.

Il est illusoire de viser la sécurité absolue, pour une raison de coût et de compétence technique (Voir Module SST3). Il convient de minimiser le niveau de risque sous un seuil acceptable d'un point de vue socio-économique. On comprend facilement que la probabilité d'une défaillance augmente avec la durée d'exploitation d'une structure, faut-il pour autant sur-dimensionner les structures en béton armé et les sur-ferrailler ?

Le risque n'est pas un aléa

Dans le béton durci la présence d'aciers judicieusement disposés permet d'équilibrer les contraintes de traction qui se développent dans le matériau:

- A condition que l'adhérence acier béton soit assurée par un bon enrobage, par le respect des dispositions constructives et le calcul,
- A condition que la durabilité de la structure soit garantie durant sa durée d'exploitation.

L'armature en acier placée dans le béton ne résiste pas en flexion mais en traction, ce qui justifie sa forme et sa position.

Le grand intérêt de l'association acier-béton tient en partie dans la complémentarité des deux matériaux, le béton en compression et l'acier en traction.



Illustration 2 : exemple de réalisation en béton armé bâclée en travaux neufs, avant livraison au maître d'ouvrage.

L'objectif de durabilité est implicitement pris en compte dans l'EUROCODE 2 par l'ensemble des prescriptions réglementaires qu'il impose aux différents intervenants,

4. Contexte réglementaire des calculs

Les structures en béton armé sont calculées au sens usuel. Une personne suffisamment compétente et qualifiée mène les calculs qui aboutissent au dimensionnement (ingénieurs, projeteurs).

Sur la quantité de brevets déposés tant en France qu'en Europe à vers 1850, peu s'appuient sur un code de calcul. Cette période voit progressivement se développer des méthodes empiriques comprenant des tableaux de portées, ou des abaques de charge limite. Aujourd'hui il s'agit d'harmoniser la réglementation à l'échelle EUROPEENNE avec les **EUROCODES**.

En 2012 des bureaux d'étude "structure" mènent des calculs de béton armé conformément à l'EC2, beaucoup continuent à mener des calculs conformément au règlement antérieur en vigueur en FRANCE, le B.A.E.L (Béton Armé aux Etats Limites). D'autres récalcitrants affirmeront par que tout ça ne sert à rien d'autres qu'à compliquer des calculs et à "mettre plus d'acier"...

a. Règlements antérieurs aux Eurocodes

Circulaire ministérielle 1906 : on néglige le béton tendu, la contrainte dans l'acier limitée à **100 MPa**.

Règlement de 1930 et circulaire 1934 : Prise en compte de l'effort tranchant, du fluage et du retrait, coefficient d'équivalence acier béton, contrainte dans l'acier limitée à **120 MPa**.

Règles BA 45 : contrainte dans l'acier limitée à **144 MPa**.

Règles BA 60 : Règles pour le calcul et l'exécution des constructions en béton armé. Théorie de la fissuration, calculs à la rupture, coefficients de sécurité contrainte dans l'acier limitée à **160 MPa**.

Règles BA 68 : Méthodes de calculs aux contraintes admissibles.

Règles B.A.E.L 83 révisé 1991 : BETON ARME AUX ETATS LIMITES (B.A.E.L.)

Méthode de calcul semi probabiliste qui prend en compte:

- La variabilité de la résistance et des autres propriétés de l'acier, introduction de valeurs caractéristiques.
- Variabilité des actions sur la structure: valeur caractéristique.
- Règles de calcul relatives au flambement.

Règles B.A.E.L 91 révisé 1999 :

- La résistance des bétons concernés est passée de **40 MPa** à **60 MPa**,
- Diagramme déformation contrainte du béton affiné.
- Annexe F relative au dimensionnement valables pour les B.H.P

b. Les Eurocodes

La norme FRANCAISE appliquée en FRANCE est la Norme EUROPEENNE de référence à laquelle est annexée un autre document, l'Annexe Nationale.

EN de référence + **NF P** = **NF EN**

EN 1992-1-1 + Annexe Nationale = **NF EN 1992-1-1**

Origine du programme des EUROCODES (source NF EN 1992-1-1 Avant Propos National [A.P.2])

En 1975, la Commission des Communautés Européennes arrêta un programme d'actions dans le domaine de la construction. L'objectif du programme était l'élimination d'obstacles aux échanges et l'harmonisation des spécifications techniques.

Dans le cadre de ce programme d'actions, la Commission prit l'initiative d'établir un ensemble de règles techniques harmonisées pour le dimensionnement des ouvrages ; ces règles, en un premier stade, serviraient d'alternative aux règles nationales en vigueur dans les États Membres et, finalement, les remplaceraient.

Pendant quinze ans, la Commission, avec l'aide d'un Comité Directeur comportant des représentants des États Membres, pilota le développement du programme des Eurocodes, ce qui conduisit au cours des années 80 à la première génération de codes européens.