

Chapitre 01 : Le béton armé : définition et propriétés mécaniques

1.1. Généralités :

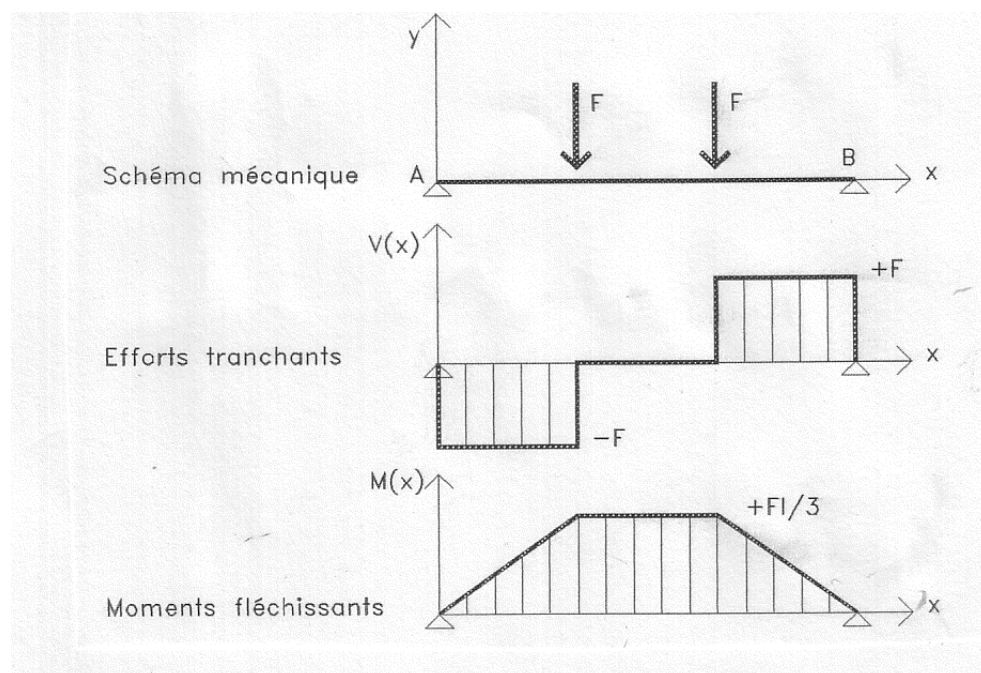
Le béton est un mélange dans des proportions préétablies (formulation des bétons) de liant (ciment), avec des granulats (sable, gravier), de l'eau et éventuellement des adjuvants.

Le béton armé peut être défini comme l'enrobage par du béton, d'aciers disposés judicieusement. Ces aciers sont appelés armatures. On distingue les armatures longitudinales disposées suivant l'axe longitudinal de la pièce, des armatures transversales disposées dans des plans perpendiculaires à l'axe de la pièce.

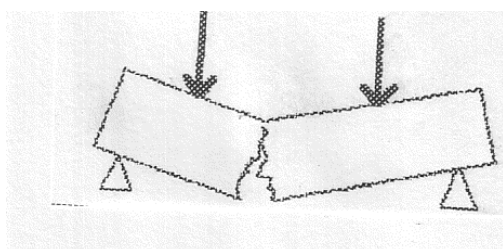
1.2. Principe de la construction en béton armé : fonctionnement en flexion

1.2.1. Présentation de l'essai :

Considérons une poutre en flexion 4 points :



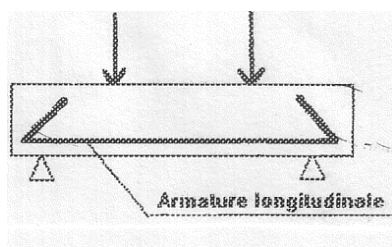
1.2.2. Première poutre : Béton non armé



La rupture intervient brutalement sous une charge faible suite à une insuffisance en traction.

La résistance en compression du béton, de l'ordre de 25 à 35 MPa est 10 fois plus importante que sa résistance en traction.

1.2.3. Deuxième poutre : Poutre armée longitudinalement

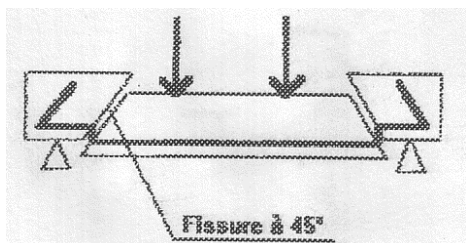


Nous disposons des armatures en fibre inférieure, là où se développent les contraintes de traction et donc là où le béton montre des insuffisances.

L'acier est par contre un matériau possédant d'excellentes capacités de résistance tant en traction qu'en compression mais à utiliser à bon escient et avec parcimonie car il s'agit d'un matériau cher. Sous charges, des fissures apparaissent en partie centrale.

A ce moment, le béton a donc cessé de résister en traction et c'est l'acier qui a pris le relais.

Les armatures empêcheront ces micro fissures de s'ouvrir davantage et prendront seuls en compte les efforts de traction.



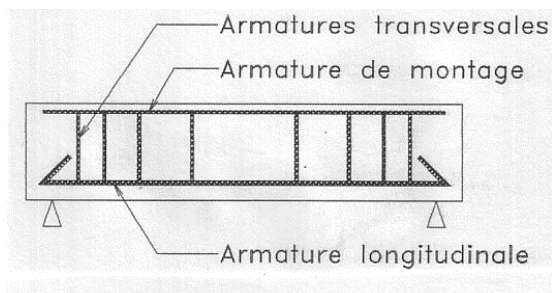
En augmentant les charges appliquées, des fissures à 45° se créent au niveau des deux zones d'appuis provenant d'une insuffisance de résistance du béton à l'effort tranchant.

La rupture intervient ensuite sur ces fissures.

Remarque :

Si, par exemple les armatures sont enduites de graisse, elles glisseront dans le béton et ne s'opposeront plus à l'ouverture des fissures. Le fonctionnement d'une telle association sera donc conditionné par une parfaite **adhérence** entre l'acier et le béton.

1.2.4. Troisième poutre : Poutre armée longitudinalement et transversalement

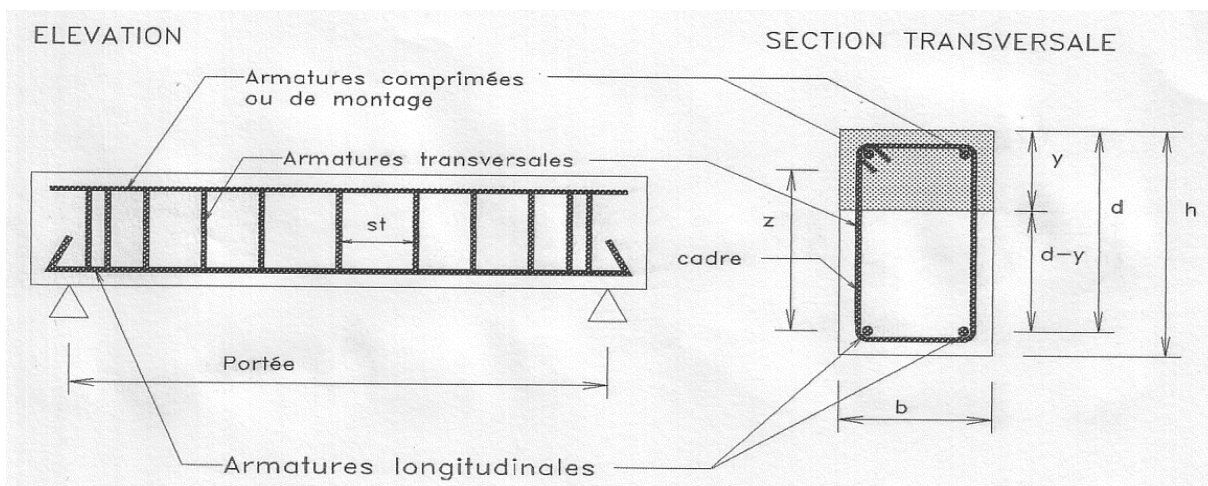


Ajoutons maintenant des armatures transversales particulièrement au niveau des appuis.

La rupture intervient beaucoup plus tard que dans les deux cas précédents. Les armatures en présence tant longitudinales que transversales limiteront l'ouverture des fissures dans le béton.

1.2.5. Synthèse :

Nous pouvons dégager à partir des éléments précédents le schéma de principe de ferrailage d'une poutre en béton armé en flexion :



Soit une poutre de portée l et de section transversale ($b \times h$) :

- d sera la hauteur utile
- y la hauteur de béton comprimé
- z le bras de levier acier-béton (entre aciers inférieurs et milieu section comprimée)
- s l'espacement des cadres

1.3. Caractéristiques des matériaux constituant le béton armé :

1.3.1. Le béton :

On se limitera ici aux aspects relatifs au comportement mécanique du béton. Pour les aspects relatifs à sa composition et à sa mise en œuvre, on se référera au cours sur les bétons. (Cours MDC).

1.3.1.1. Définition :

On appelle béton : le mélange dans des proportions convenable des éléments suivants :

- Liant hydraulique (ciment), granulats (sable, gravier), eau et adjuvants (produits chimiques qu'on ajoute au mélange pour améliorer une qualité).

Qualités recherchées pour un bon béton :

- Résistance mécanique élevée.
- Imperméabilité à l'eau et absence de réaction chimique avec l'acier.
- Bonne mise en œuvre (facile à couler).
- Bonne tenue dans le temps.
- Le béton doit être un produit économique.

Ces résultats seront obtenus, en jouant sur les paramètres suivants :

- La qualité ciment, granulats.
- Le dosage (quantité).
- Un bon mélange (homogénéité).

On appelle béton armé le matériau obtenu en ajoutant au béton des barres en acier. Ces barres en acier sont généralement appelées **armatures**. Dans l'association béton + acier, le béton résiste aux efforts de compression et l'acier résiste aux efforts de traction et éventuellement aux efforts de compression si le béton ne suffit pas pour prendre tous les efforts de compression qui existent.

Béton → Compression (Résistance à la compression = 20 MPa à 40MPa)

(Résistance à la traction = 2 MPa à 4MPa)

Acier → Traction ou compression (200 MPa à 500 MPa)

Une construction sera appelée en béton armé si les deux matériaux participent à la résistance de l'ensemble.

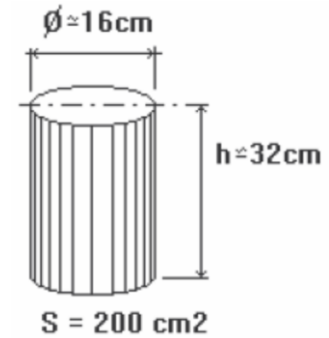
1.3.1.2. Caractéristiques physiques et mécaniques du béton :

A- Masse volumique :

- La masse volumique béton à granulats courants (normal) → 2200 ÷ 2400 kg/m³
- La masse volumique béton à granulats légers → 700 ÷ 1500 kg/m³
- La masse volumique béton à granulats lourds → 3500 ÷ 4000 kg/m³
- La masse volumique du béton armé → 2500 kg/m³.

B- Résistance caractéristique à la compression :

La résistance caractéristique à la compression du béton f_{cj} à j jours d'âge est déterminée à partir d'essais sur des éprouvettes de béton cylindrique (16x32) soumises à la compression centrée. Elle est définie comme la valeur de la résistance en dessous de laquelle on peut s'attendre à rencontrer 5% au plus de l'ensemble des ruptures des essais de compression. Lorsque l'âge du béton est inférieur à 28 jours, on prend en compte pour les calculs de résistance f_{cj} , valeur caractéristique à j jours, obtenue suivant les cas par les formules suivantes:



$$\begin{cases} f_{cj} = \frac{j}{4,76 + 0,83j} \times f_{c28} & \text{pour } f_{c28} \leq 40 \text{ MPa.} \\ f_{cj} = \frac{j}{1,40 + 0,95j} \times f_{c28} & \text{pour } f_{c28} > 40 \text{ MPa.} \end{cases}$$

Il est courant de considérer pour f_{c28} des valeurs comprises entre 20 et 30 MPa.

C- Résistance caractéristique à la traction :

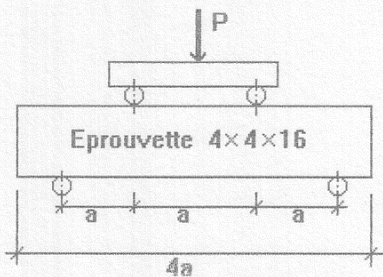
La résistance caractéristique à la traction du béton à j jours, notée f_{tj} , est conventionnellement définie à partir de la résistance à la compression par la relation:

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06f_{cj}$$

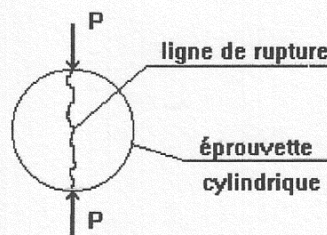
Les résistances caractéristiques en traction f_{tj} peuvent aussi être déterminées par essais :

- par l'essai de traction par flexion (NF-P 18-407)
- par l'essai de fendage ou essai brésilien (NF-P 18-408)

Essai de traction par flexion :



Essai de fendage :



$$f_{tj} = \frac{2P}{\pi \cdot \phi \cdot h}$$

h hauteur de l'éprouvette
 ϕ diamètre de l'éprouvette

D - Déformations du béton :

Déformation longitudinale :

Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24 heures, on définit un module de déformation longitudinale, E_{ij} , égal au coefficient directeur de la droite passant à l'origine, du diagramme contraintes – déformations (domaine élastique).

L'article A.2.1,21 du BAEL donne la valeur de E_{ij} à l'âge de j jours:

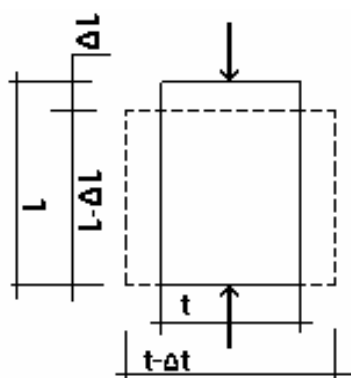
$$E_{ij} = 11\,000 f_{cj}^{1/3} \text{ (MPa)}$$

Sous des contraintes de longue durée d'application, les effets du fluage du béton nous rajoutent une déformation complémentaire du double de la déformation instantanée soit, en définitive une déformation totale triple.

L'article A.2.1,22 du BAEL donne la valeur du module de déformation longitudinale différée du béton $E_{vj} = 3700 \times f_{cj}^{1/3}$ (MPa).

Déformation transversale: coefficient de Poisson :

Lorsqu'on soumet une éprouvette de béton à des efforts de compression, il se produit non seulement un raccourcissement longitudinal Δl , mais également un gonflement transversal Δt le coefficient de poisson ν est le rapport entre le gonflement unitaire $\Delta t / t$ et le raccourcissement unitaire $\Delta l / l$.



Δl raccourcissement longitudinal

Δt gonflement transversal

$\nu = \Delta t / \Delta l$ coefficient de POISSON

Béton non fissuré $\nu = 0,20$

Béton fissuré $\nu = 0,00$

Déformation du béton sous chargement constant de longues durées : (le fluage)

Le fluage c'est l'augmentation dans le temps de la déformation relative sous des contraintes permanentes, ça veut dire que si on maintient l'effort constant l'éprouvette va se déformer. Cette déformation du béton augmente continuellement avec le temps.

Pour le béton, les déformations de fluage sont loin d'être négligeables puisqu'elles peuvent représenter jusqu'à deux fois les déformations instantanées.

Phénomène de retrait :

Après coulage, une pièce de béton conservée à l'air tend à se raccourcir. Ceci est dû à l'évaporation de l'eau non-liée avec le ciment et peut entraîner des déformations de l'ordre de $1,5 \cdot 10^{-4}$ à $5 \cdot 10^{-4}$ selon l'humidité de l'environnement. On notera que des pièces de béton conservées dans l'eau subissent, au contraire, un gonflement. Le retrait commence dès le premier jour de vie de la pièce en béton et on observe que 80% du retrait est atteint au bout de deux ans.

La principale conséquence du retrait est l'apparition de contraintes internes de traction, contraintes dont la valeur peut facilement dépasser la limite de fissuration.

Pour se protéger des désordres liés au retrait, on adoptera les dispositifs constructifs suivants :

- utiliser des bétons à faible chaleur d'hydratation,
- maintenir les parements en ambiance humide après coulage,
- disposer des armatures de peaux de faible espacement pour bien répartir les fissures de retrait,
- éviter de raccorder des pièces de tailles très différentes.
- utiliser des adjuvants limitant les effets du retrait.

1.3.2. L'acier :

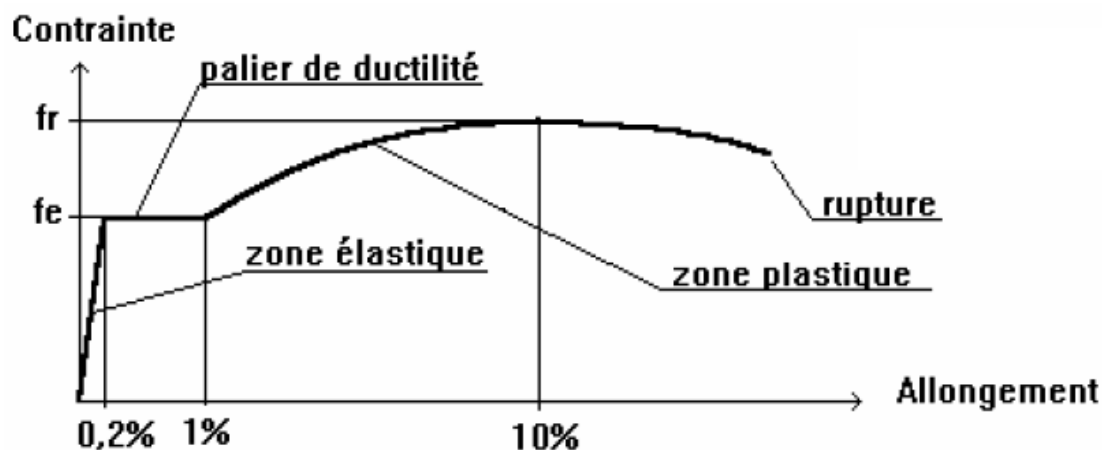
1.3.2.1. Présentation du matériau :

Le matériau acier est un alliage fer et carbone en faible pourcentage. Les aciers utilisés en BA sont les aciers de nuance douce (0,15 à 0,25 % de carbone) et les aciers de nuance mi-dure et dure (0,25 à 0,40 % de carbone). On considèrera pour l'acier, un poids volumique de 78,5kN/m³.

Le caractère mécanique servant de base aux justifications est la limite d'élasticité garantie, désignée par f_e . Cette valeur varie en fonction du type d'acier.

Le module d'élasticité longitudinale E_s est pratiquement constant quel que soit l'acier utilisé et est pris égal à: $E_s = 200\ 000\ \text{MPa}$

L'essai de traction de l'acier, nous permet d'avoir le diagramme contrainte déformation à l'allure suivante, tant pour la compression que pour la traction.



1.3.2.2. Différents types d'aciers :

On utilise pour le béton armé, des aciers qui se distinguent par leur nuance et leur état de surfaces : on trouve les ronds lisses, et les barres à haute adhérence.

a. Les ronds lisses: Symbole F ou RL:

Ce sont des aciers doux, laminés à chaud et de surface lisse, ne présentant aucune aspérité. Les nuances utilisées sont les **Fe E 215** et **Fe E 235**.

b. Les armatures à haute adhérence: Symbole HA

Ils sont obtenus par laminage à chaud d'un acier naturellement dur, dont les caractéristiques mécaniques sont dues à une composition chimique appropriée. On n'utilise plus, en béton armé, des aciers obtenus par laminage suivi d'un écrouissage.

Ces armatures ont leur surface marquée par des crénelures de formes diverses suivant les marques commerciales, de façon à assurer une meilleure adhérence avec le béton. Ces aciers existent dans les nuances **Fe E 400** et **Fe E 500**.

c. Les treillis soudés: Symbole TS

Si les autres types d'acier se présentent en barres, ces derniers sont soit en rouleaux, soit en panneaux et de dimensions normalisées. Leur largeur

standard est de 2,40m. La longueur des rouleaux est de 50 m et celle des panneaux est de 4,80 m ou 6 m.

Les treillis soudés sont constitués par des fils se croisant perpendiculairement et soudés électriquement à leurs croisements. On distingue les treillis soudés à fils tréfilés lisses dits TSL des treillis soudés à fils à haute adhérence dits TSHA (voir norme NF A 35-022).

Types d'aciers	Désignation	Limite élastique fe (MPa)	Résistance à la rupture fr (MPa)	Allong ^t à la rupture (%)	Coeff de scellement Ψ_s	Coeff de fissuration η	Diamètres courants (mm)
Aciers ronds lisses Symbole Φ (NF A 35015)	Fe E 215	215	≥ 330	22	1	1	6
	Fe E 235	235	≥ 410	22	1	1	8
							10 12
Armatures à haute adhérence Symbole HA NF A 35016	Fe E 400	400	480	14	1,5	1,6	6, 8, 10, 12, 14, 16,
	Fe E 500	500	550	12	1,5	1,6	20, 25, 32, 40
Treillis soudés lisses Symbole TSL		500	550	8	1	1	3,5 à 9mm avec un pas de 0,5mm
Treillis soudés haute adhérence Symb.TSHA		500	550	8	1,5	$\Phi < 6\text{mm}$ 1,3 $\Phi \geq 6\text{mm}$ 1,6	3,5 à 12mm pas 0,5mm 14 et 16mm commande