

Généralité sur le béton armé

I.1) Définition :

Le béton armé est constitué par la réunion des deux matériaux : le béton et l'acier.

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

Liant hydraulique (le ciment), l'eau et granulats (sable et gravier).

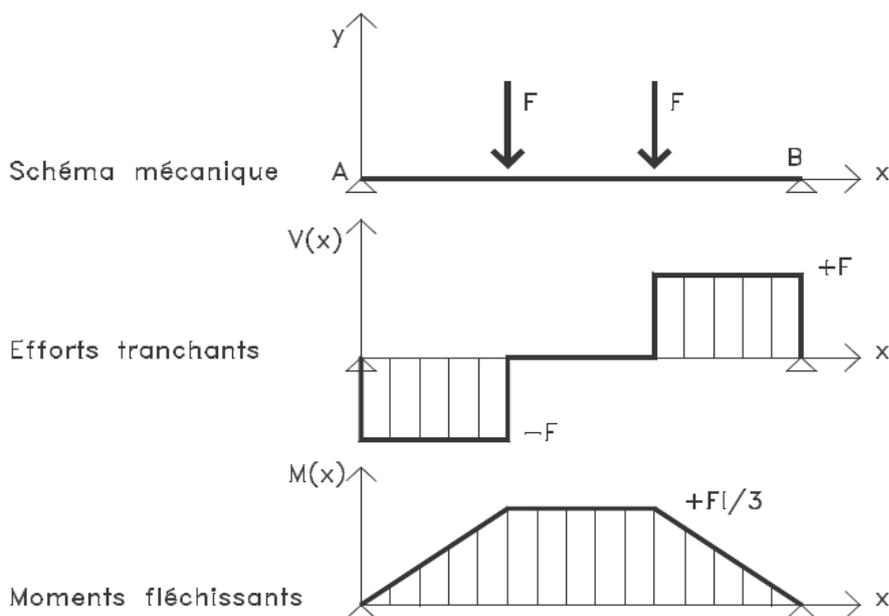
On appelle "Béton armé " : le matériau obtenu en ajoutant au béton des barres en acier appelées : armatures.

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.

I.2) Principe de la construction en béton armé (Fonctionnement en flexion) :

a) Présentation de l'essai

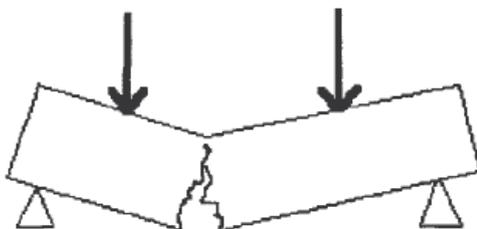
Considérons une poutre en flexion 4 points :



1) Première poutre est en 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.



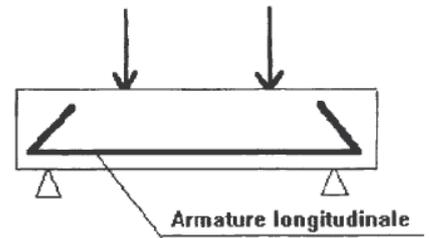
2) Deuxième poutre est armée longitudinalement

- Nous disposons des armatures dans la partie inférieure, là où le béton montre une faiblesse.

- Sous des charges, le béton cesse de résister en traction et c'est l'acier qui prend le relais, les armatures longitudinales empêcheront l'ouverture des microfissures causées par la faiblesse du béton à la résistance et elle 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.

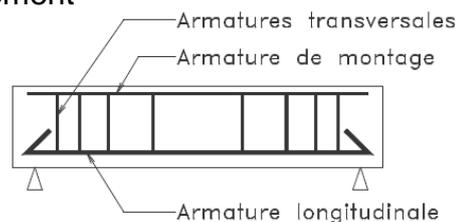
La rupture intervient ensuite sur ces fissures.



3) Troisième poutre : poutre armée longitudinalement et transversalement

Ajoutons des armatures transversales particulièrement au niveau des appuis.

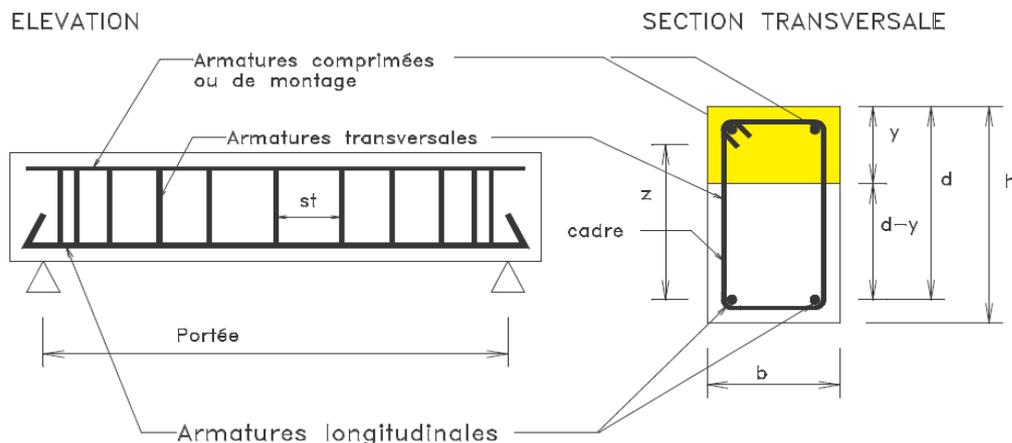
Les armatures longitudinales et transversales limiteront l'ouverture des fissures dans le béton.



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)
- st l'espacement des cadres



I.3) Avantages et inconvénients du béton armé :

I.3.1) Les avantages :

a) L'intérêt économique : Le béton est le moins coûteux des matériaux de construction résistants à la compression et susceptible d'être associé à d'autres éléments.

L'acier est actuellement le seul matériau utilisé dans la fabrication des armatures parce qu'il est le moins cher des matériaux pouvant résister à la traction.

b) Une mise en œuvre facile : Le béton étant mis en place (dans des moules : coffrage) à l'état pâteux ; il est possible de réaliser des constructions aux formes les plus variées et les armatures peuvent être facilement liées.

Le béton armé se prête facilement à la fabrication en usine (la préfabrication).

Le béton armé ne nécessite pas une main d'œuvre qualifiée.

c) Economie d'entretien : Les constructions en béton armé ne nécessitent pas autant d'entretien tandis que les constructions métalliques qui ont besoin d'être peintes régulièrement.

d) Résistance au feu : Les constructions en béton armé se comportent beaucoup mieux en cas d'incendie que les constructions métalliques ou en bois.

Le béton, grâce à sa mauvaise conductibilité thermique retarde les effets de la chaleur sur les armatures, il est possible de remettre en service la construction après les réparations superficielles ce qui est impossible pour les constructions métalliques. Cette propriété a permis d'utiliser le béton armé dans certaines parties des fours.

e) La durabilité : Le béton armé résiste bien à l'action de l'eau et de l'air, la seule condition à observer est la protection des armatures.

I.3.2) Les inconvénients :

a) Le poids : Les ouvrages en béton armé sont plus lourds que les autres modes de constructions.

b) La durée d'exécution : Pour exécuter un ouvrage en béton armé il faut :

- Préparation des coffrages qui demande beaucoup de temps et un travail de charpente important.

- Ce coffrage doit rester en place jusqu'à ce que le béton atteigne une résistance suffisante.

- Le placement des armatures.

e) La brutalité des accidents : Les accidents qui surviennent d'un ouvrage en béton armé sont en général soudains ou brutaux, et en général ils sont dus à des erreurs de calcul ou de réalisation.

d) difficulté de modification d'un ouvrage déjà réalisé : Il est difficile de modifier un ouvrage déjà réalisé.

I.4) Caractéristiques des matériaux constituant le béton armé :

I.4.1) Le Béton

a) La résistance du béton

a.1) Résistance mécanique à la compression

Le béton est caractérisé par sa résistance à la compression à l'âge de 28 jours, noté f_{c28} . Cette valeur est mesurée par compression axiale d'un cylindre droit, normalisé (16x32).

Pour des calculs en phase de réalisation, on adoptera les valeurs à j jours définies à partir de f_{c28} par les formules suivantes : (selon les règles BAEL91 révisés en 99 (**Article A. 2. 1. 11**))

✓ Pour des résistances $f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$:

$$\begin{cases} f_{c_j} = \frac{j}{4.76 + 0.83j} f_{c28} & \text{si } j < 60 \text{ jours} \\ f_{c_j} = 1.1 f_{c28} & \text{si } j > 60 \text{ jours} \end{cases}$$

✓ Pour des résistances $f_{c28} > 40 \text{ MPa}$:

$$\begin{cases} f_{c_j} = \frac{j}{1.40 + 0.95j} f_{c28} & \text{si } j < 28 \text{ jours} \\ f_{c_j} = f_{c28} & \text{si } j > 28 \text{ jours} \end{cases}$$

a.2) Résistance à la traction : (selon les règles BAEL91 (**Article A. 2. 1. 12**))

La résistance à la traction à l'âge de j jours f_{tj} est définie par la formule suivante :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06 f_{c_j} \text{ pour } f_{c_j} \leq 60 \text{ MPa}$$

$$f_{tj} = 0,275 \times (f_{c_j})^{2/3} \text{ pour } f_{c_j} > 60 \text{ MPa}$$

b) Module de déformation longitudinale

b.1) Module de déformation instantanée (BAEL91 (Article A.2.2.21))

Sous des contraintes normales d'une durée inférieure à 24 h le module de déformation instantanée du béton égale à : $E_{ij} = 11000(f_{cj})^{1/3}$ MPa

b.2) Module de déformation différée (BAEL91 (Article A.2.1.22))

Sous des contraintes normales de longue durée et pour tenir en compte l'effet de fluage du béton, le module de déformation différée du béton égale à :

$$E_{vj} = 3700 * f_{cj}^{1/3}$$

c) Coefficient de poisson

C'est le rapport entre les déformations transversales et les déformations longitudinales.

$$\left. \begin{array}{l} \nu = 0.2 \rightarrow \text{Pour le béton non fissuré (ELS)} \\ \nu = 0 \rightarrow \text{Pour le béton fissuré (ELU)} \end{array} \right\} \dots \text{BAEL91 (Article A. 2. 1. 3)}$$

I.4.2) L'acier :

a) Définition :

L'acier est un alliage de fer et de carbone. Cet alliage possède une bonne résistance mécanique en traction et en compression. L'acier est fabriqué sous forme de barres cylindriques par laminage à chaud, suivi d'un écrouissage par torsion ou traction améliorant ses propriétés mécaniques.

b) La forme et désignation des armatures :

Les aciers d'armature se présentent sous forme de barres. Les plus petits diamètres peuvent être fournis en rouleau, comme sous forme de barres droites de 6 ou 12m de longueur. Les autres diamètres sont fournis sous forme de barre droite de 6 à 12m de longueur, le tableau suivant aide à choisir le diamètre et le nombre de barres à mettre en place pour une largeur de section de béton donnée.

Section en cm² de 1 à 20 armatures de diamètre Ø en mm

Ø	5	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
1	0,20	0,28	0,50	0,79	1,13	1,54	2,01	3,14	4,91	8,04	12,57
2	0,39	0,57	1,01	1,57	2,26	3,08	4,02	6,28	9,82	16,08	25,13
3	0,59	0,85	1,51	2,36	3,39	4,62	6,03	9,42	14,73	24,13	37,70
4	0,79	1,13	2,01	3,14	4,52	6,16	8,04	12,57	19,64	32,17	50,27
5	0,98	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,05	15,71	24,54	40,21	62,83
6	1,18	1,70	3,02	4,71	6,79	9,24	12,06	18,85	29,45	48,25	75,40
7	1,37	1,98	3,52	5,50	7,92	10,78	14,07	21,99	34,36	56,30	87,96
8	1,57	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	25,13	39,27	64,34	100,5
9	1,77	2,54	4,52	7,07	10,18	13,85	18,10	28,27	44,18	72,38	113,1
10	1,96	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	31,42	49,09	80,42	125,7
11	2,16	3,11	5,53	8,64	12,44	16,93	22,12	34,56	54,00	88,47	138,2
12	2,36	3,39	6,03	9,42	13,57	18,47	24,13	37,70	58,91	96,51	150,8
13	2,55	3,68	6,53	10,21	14,70	20,01	26,14	40,84	63,81	104,6	163,4
14	2,75	3,96	7,04	11,00	15,83	21,55	28,15	43,98	68,72	112,6	175,9
15	2,95	4,24	7,54	11,78	16,96	23,09	30,16	47,12	73,63	120,6	188,5
16	3,14	4,52	8,04	12,57	18,10	24,63	32,17	50,27	78,54	128,7	201,1
17	3,34	4,81	8,55	13,35	19,23	26,17	34,18	53,41	83,45	136,7	213,6
18	3,53	5,09	9,05	14,14	20,36	27,71	36,19	56,55	88,36	144,8	226,2
19	3,73	5,37	9,55	14,92	21,49	29,25	38,20	59,69	92,27	152,8	238,8
20	3,93	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	62,83	98,17	160,8	251,3

Pour faciliter le ferrailage des surfaces, ces barres peuvent être fournies soudées en forme de mailles rectangulaires, et qui sont appelées treillis soudé.

- Les ronds lisses ; se sont des barres lisses, leurs classes (nuances) sont : FeE22 (ou FeE215) et FeE24 (ou FeE235). Leurs diamètres nominaux sont : 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32, 40, 50 (mm)

- **Les aciers à haute adhérence :**

Ces armatures présentent des aspérités en saillies inclinées par rapport à l'axe de la barre appelées empreintes pour améliorer l'adhérence entre le béton et l'acier. Leurs diamètres nominaux sont : 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32, 40, 50 (mm)

- **Les treillis soudés :**

Ils sont utilisés pour ferrailer rapidement des éléments plans tels que les dalles, ils sont constitués par des fils perpendiculaires et soudés électriquement.

Les barres et les armatures sont désignées par les lettres Fe suivies de la résistance de l'acier. Fe500 indique qu'il s'agit d'un acier qui résiste en compression comme en traction à 500Mpa

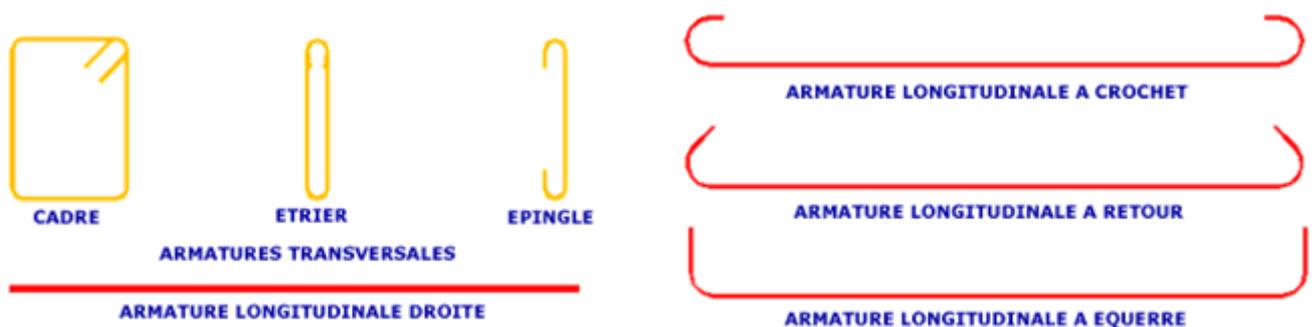
- Lorsque l'on veut les désigner en précisant le diamètre, on mentionne la lettre (Ø) suivie du diamètre de l'armature : Un Ø6 désigne une barre ou une armature de 6mm de diamètre.

- Il est possible de préciser le caractère de haute adhérence : Les barres ou les armatures sont désignées par les lettres H.A.

- Pour indiquer la Haute Adhérence suivie du diamètre en mm : H.A.10 désigne une barre d'acier à haute adhérence d'un diamètre de 10mm.

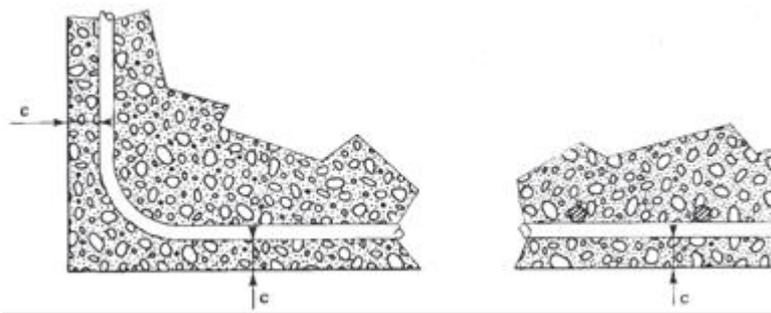
- Les désignations peuvent être rapprochées. Ainsi un H.A.12 Fe500, désigne une barre d'acier à haute adhérence de 12mm de diamètre d'une résistance de 500Mpa.

Il est possible de donner à une armature n'importe quelle forme. Mais la fonction des armatures et la normalisation réduisent considérablement les choix de forme au point de pouvoir les résumer par ces formes préférentielles:



c) L'enrobage :

L'enrobage enrobe les armatures pour les protéger des éléments agressifs. Cette distance d'enrobage varie selon les éléments environnant l'élément en béton armé. Un élément destiné à être à l'intérieur d'un ouvrage dans un environnement sec et sans agents agressifs est protégé par 1 cm d'enrobage. Un élément situé à l'extérieur d'un ouvrage, qui est en contact avec la pluie ou dans un environnement humide (piscine par exemple) mais sans d'autres agents agressifs a un enrobage de 3 cm. Enfin un élément en béton armé situé dans un environnement très agressif (bord de mer, par exemple) a un enrobage de 5 cm.



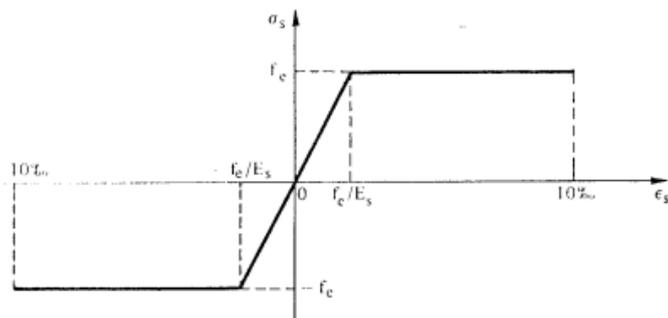
d) Caractéristiques mécaniques

- La limite d'élasticité : Le caractère mécanique servant de base aux justifications est la limite d'élasticité garantie, désignée par f_e .

Par exemple FeE215 : la limite d'élasticité $f_e = 215$ MPa

- Le module d'élasticité de l'acier : Le module d'élasticité longitudinale (le module de young) de l'acier E_s est pris égal à $200\,000$ N/mm² ou bien 2×10^5 MPa

- Diagramme déformations-contraintes



On a :

- Pour $\sigma_s < f_e$:

$$\sigma_s = \epsilon_s \times E_s \quad \text{on trouve :}$$
$$\epsilon_s = \sigma_s / E_s < \epsilon_l$$

- Pour $\sigma_s = f_e$ on trouve la déformation limite ou la déformation qui correspond à la limite d'élasticité : $\epsilon_l = f_e / E_s$

- Pour $\epsilon_s < \epsilon_l$ on a $\sigma_s = \epsilon_s \times E_s < f_e$

- Pour $\epsilon_s > \epsilon_l$ on a $\sigma_s = f_e = \epsilon_l \times E_s$