

# BETON ARME (B.A. COURS 3 EME ANNEE)

## I- Généralité :

### 1- Définition:

Le **béton armé** est un mélange de **ciment**, d'**eau** et de **sable**, renfermant une **armature métallique** et employé dans les **constructions**.

### 2- Historique :

Le premier brevet du BA a été composé **en 1868** par **Monier**. Le premier ouvrage en BA est une **barque** qui est le fruit de l'imagination de **Lambot** et date de **1855**. Dès lors, ce nouveau matériau va connaître un essor considérable sous l'impulsion de pionniers tels que : **Rabut, Coignet, Dedesco, Hemmebiques** et d'autres.

### 3- Principe :

Le béton armé est né de l'association judicieuse du **béton** et de l'**acier**. On peut le définir comme un matériau artificiel obtenu par **moulage**.

### 4- Expérience :

Les expériences porteront sur une série de coupes de dimensions (**0,15 x 0,30 x 3,00 m**) ainsi sollicitées :

### a- Première poutre :

Dans cette première expérience, la poutre en béton n'est pas armée. Très rapidement et par une charge faible ( $F = 6\ 000\ \text{N}$ ), la rupture viendra d'une manière brutale. La forme de la rupture montre que cette dernière provient d'une insuffisance de béton en **traction**.

En effet, la résistance en **compression** du béton ( $25$  à  $35\ \text{N/m}^2$ ) est **dix fois** plus importante que sa résistance en traction.

### b- Deuxième poutre :

Nous allons remédier à cette insuffisance en plaçant des barres d'aciers en fibre, là où se développent les contraintes de traction.

L'acier est un matériau possédant d'excellentes qualités mécaniques, tant en compression qu'en traction.

Ainsi armée, cette poutre supporte mieux les sollicitations qui lui sont imposées, sa résistance est grandement améliorée.

De petites fissures verticales apparaissent en partie centrale, elles montrent que le béton a cessé de résister à la traction et que l'**acier** a pris le relais.

Si nous augmentons encore la charge, des fissures inclinées apparaissent en dehors de la partie médiane.

La résistance des matériaux montrent que les fissures proviennent du fait de l'effort tranchant. Si nous poursuivons encore l'expérience, ces fissures vont brusquement s'ouvrir et provoquer la rupture de la **poutre** avec ( $70\ 000\ \text{N}$ )

### c- Troisième poutre :

Pour empêcher ce type de rupture, nous allons concevoir une troisième poutre possédant en plus des **barres longitudinales**, les **armatures transversales**. Ces dernières doivent s'opposer aux efforts tranchants. Cette poutre ainsi conçue a une résistance améliorée par rapport aux processus.

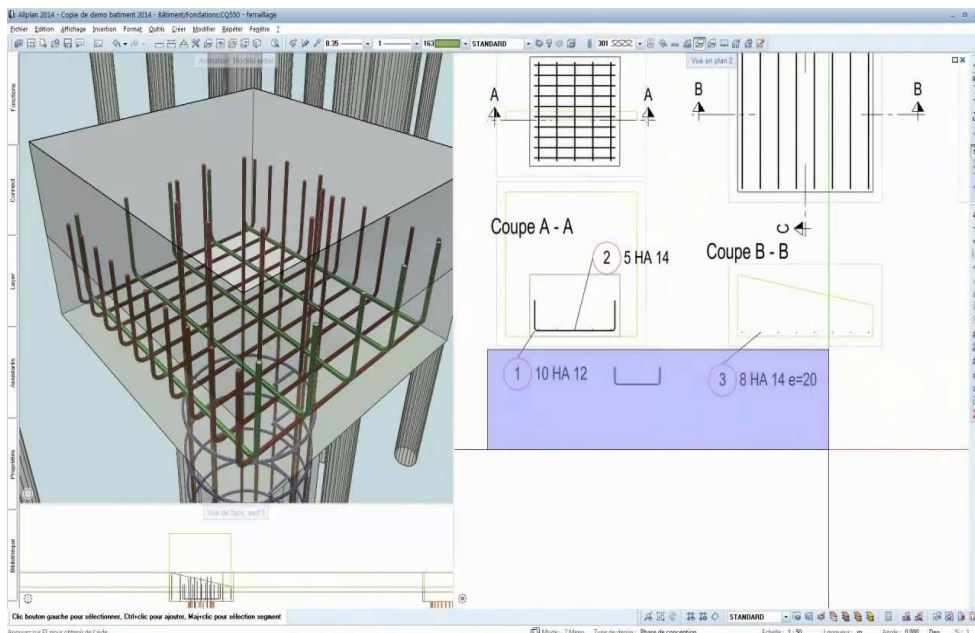
Des fissures apparaîtront et se développeront, mais les divers aciers en présence limiteront leurs effets, la rupture interviendra plus tard durement avec ( $110\ 000\ \text{N}$ )

## Conclusion :

L'idée du béton armé consiste à combiner l'acier et le béton dans une même pièce, de façon à ce que le béton abrite les efforts de compression et l'acier les efforts de traction.

## 5- Principe de ferrailage :

La conclusion précédente nous permet d'analyser pour chaque pièce la meilleure conception, afin d'utiliser au mieux leurs propriétés.



**h** = hauteur de la **V** ; **cl** = hauteur utile ; **y** = hauteur comprise.

No	Désignation	façonnage
1	Armature longitudinale	L
2	Armature - // - 2 lits	-
3	Armature - // - chapeau	-
4	-// - transversale (cadre)	
5	-// - longitudinale 3eme lit	-
6	// transversale (trier, épingle de montage)	O
7		
8	-// - construction	L

## **6- Principaux avantages:**

### **a- La souplesse de formes :**

Elle provient du moulage.

### **b- Monolithisme :**

Une construction en béton armé peut être considérée d'un seul tenant.

### **c- Mise en œuvre :**

La spécialisation réduite de la main-d'œuvre n'est pas l'obstacle majeur à la réalisation d'ouvrages en béton, malgré toute une main-d'œuvre bien formée, elle augmenterait la qualité de l'ouvrage.

## **7- Economie :**

Le BA permet des économies sur les constructions métalliques de l'ordre de **10 à 20 %** pour les pièces fléchies. En compression, le béton coûte **3 à 5** moins cher que l'acier.

## **8- Conservation :**

Le BA est pratiquement insensible aux augmentations atmosphériques de peur que l'acier soit suffisamment enrobé.

## **9- Résistance au feu :**

Le BA résiste bien au feu si l'acier est suffisamment enrobé.

### **- Inconvénient du BA.**

- Le chantier de construction en BA prend assez de temps (durée longue).
- Le poids mort du BA, permet à la construction de résister face aux efforts dynamiques (forces

du vent, poussées des eaux...).

## 10- Unités :

L'unité utilisée en BA est le mégapascal ou ses sous-multiples. Le mégapascal se note : **Mpa**.

$$1 \text{ Mpa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ Mpa} = 10 \text{ bars}$$

$$1 \text{ Mpa} = 10 \text{ daN/cm}^2$$

$$1 \text{ bar} = 1 \text{ daN/cm}^2$$

## II- Les Actions et Sollicitations:

### A- Les Actions :

Les actions résultent de l'application directe des **charges** ou des **déformations** accidentelles ou systématiques (**retrait, fluage, dilatation**).

#### 1- Actions permanentes :

Elles sont notées **G** et ont une intensité constante ou très peu variable dans le temps. Les actions permanentes comprennent :

- a- **Le poids propre de la structure** (poids des dalles, poutres, poteaux, semelles...).
- b- **Le poids des cloisons et des revêtements de sol** (pour les bâtiments).
- c- **Le poids des revêtements routiers et les garde-corps** (pour les ponts).
- d- **Les poussées de terre et les pressions des liquides** (pour les murs de soutènement et les réservoirs).

## 2- Actions variables :

Elles se notent **Q** et ont une intensité qui varie de façon importante dans le temps. Les actions variables comprennent :

**a- Les charges d'exploitation** (poids des personnes, meubles...). Les charges d'exploitation résultent de l'exploitation du bâtiment.

**b- Les charges climatiques**, ce sont les charges regroupant les actions dues aux vents et la neige. Les charges provenant des équipements de chantier, de coffrage, des engins de transport, les dépôts provisoires de matériaux constituent aussi des actions variables.

## 3- Accidentelles :

Elles se notent **FA** et résultent des phénomènes se produisant rarement ou de façon accidentelle tels que le **séisme**, les grands **chocs**, les **explosions**.

## B- Sollicitation : Notion de calcul d'état limite

Les sollicitations sont des éléments de réduction de **torseurs** des forces extérieures appliquées aux éléments de la structure.

Elles comprennent :

- L'effort tranchant noté **T**
- Le moment de flexion noté **M** (pour une poutre)
- L'effort normal noté **N** (pour un poteau).

### III- Notion d'Etat limite :

#### 1- Définition :

Un état limite est un état au delà duquel les conditions requises d'une construction ou l'un de l'un de ses éléments ne sont plus satisfaisantes.

On distingue :

a- **Les états limites ultimes** notés **ELU** dont le dépassement équivaut à la ruine de la structure.

Les états limites ultimes comprennent : la **limite de l'équilibre statique**, la **limite de résistance des matériaux**, la **limite de stabilité des formes**.

b- **Les états limites de service** notés **ELS** pour lesquels les conditions de bon fonctionnement ou d'utilisation et de rentabilité ont atteint leurs limites : ce sont les états limites d'**ouverture des fissures** pour éviter la corrosion des aciers et de la **résistance du béton** pour éviter l'apparition d'une fissure parallèle à la fibre neutre.

#### 2- Combinaison de base :

**ELU** :  $1,35 G + 1,5 Q$

**ALS** :  $G + Q$

### EXERCICE :

Une dalle pleine de 3 m x 2 m x 020 m. Elle repose à ses deux extrémités sur deux appuis simples A et B. Sachant que le poids volumique du béton armé est de 2 500 daN.

- Calculer à l'état limite la charge répartie que supporte la dalle.
- Calculer les réactions d'appui de la dalle.

**Solution :**

1- L'état limite des charges réparties :

P

$$G = \dots$$

Y

- La surface de la section de la dalle est : section (A – A)

$$S = 2 \times 0,20 = 0,40 \text{ m}^2$$

- La charge permanente linéaire est :

G

$$G = \dots = G' \cdot S = G = 2\,500 \text{ daN} \times 0,40 \text{ m}^2$$

S

$$G = 1\,000 \text{ daN/m}$$

- La charge d'exploitation linéaire est :

$$Q \quad \quad \quad 150 \text{ daN} \quad \quad \quad 300 \text{ daN}$$

$$q = \dots = Q = q \times L = \dots \times 2 \text{ m} = \dots$$

$$L \quad \quad \quad \text{m}^2 \quad \quad \quad \text{m}$$

- La charge répartie à l'ELU est :

$$Q_u = 1,35 G + 1,5 Q$$

$$Q_u = 1,35 \times 1\,000 + 1,5 \times 300 = \mathbf{1\,800 \text{ daN/m}}$$

2- Réaction des appuis :

$$Q_u = 1\,800 \text{ daN/m}$$

$$Q_u \cdot L = Q_u = 1\,800 \times 3 = \mathbf{5\,400 \text{ daN}}$$

$$\sum M_{B/B} = 0 = 3 R_A - 1,5 Q_u = 0$$

$$3R_A - (1,5 \times 5\,400) = 0$$

$$3R_A - 8\,100 = 0$$

$$3R_A = 8\,100$$

$$8\,100$$

$$R_A = \frac{\quad}{3} = \mathbf{2\,700\ daN}$$

$$3$$

$$\sum m/A \geq R_B + 1,5 Q_u = 0$$

$$-3R_B + 1,5 \times 5\,400 \geq 0$$

$$-3R_B + 8\,100 = 0$$

$$-3R_B = -8\,100$$

$$8\,100$$

$$R_B = \frac{\quad}{3} = \mathbf{2\,700\ daN}$$

$$3$$

$$1$$

- Calculer G sachant qu'à l'ELU la charge totale est de 1 800 daN et  $\varphi = \frac{1}{3} G$ .

$$1$$

$$3$$

$$G : \varphi = 1\,800\ daN \text{ et } \varphi = \frac{1}{3} G$$

$$3$$

$$\text{A l'ELU : } \varphi = 1,35 G + 1,5 Q$$

$$1\,800 = 1,35 G + 1,5 \left(\frac{1}{3} G\right)$$

$$1\,800 = 1,35 G + 0,5 G$$

$$1\,800$$

$$1\,800 = 1,85 G \Rightarrow G = \frac{\quad}{1,85} = \mathbf{972,97\ daN}$$

$$1,85$$

$$1$$

$$1$$

$$\text{d'où } Q = \frac{1}{3} G = \frac{1}{3} \times 972,97 = \mathbf{324,32\ daN.}$$

$$3$$

$$3$$

## IV- Les Matériaux et leurs Comportements :

### A- Amiante et Ciment :

#### 1- Définition :

Matériau minéral de densité **1,2 à 2**, issu d'un mélange homogène de **ciment** et de fibres d'**amiante** (tirée de la roche amiantifère), résiste au feu, aux agents chimiques et aux **moisissures**, assez résistant à la flexion et à la traction, légèrement élastique, incombustible, imperméable, inaltérable, sujet à certaines variations dimensionnelles (**humidité, température**).

Selon les utilisations, le matériau peut comporter également de la **cellulose** ou de la **silice** en mélange. L'amiante-ciment peut être peint, mais nécessite un isolant préalable (**caoutchouc chloré**) pour certaines peintures.

#### 2- Utilisations :

Couvertures colorées ou non (**plaques ondulées** et **ardoises** de formats et formes diverses), faitières, **plaques de rives** et **raccords**, etc. ; **bardages** ou **revêtements** décoration de murs extérieurs (isolation humidité et thermique), cloisons, plafonds, lambris, dessus de meubles de cuisine ou de jardin, habillage de baignoires, étagères, marches d'escalier, dessus de radiateur, rayonnages, selon épaisseurs (**3 à 25 mm**, plaques de 2 à 3 m de longueur en **1,20 m** de largeur). Les plaques décoratives, reliefs ou coloris, rainures, etc., s'utilisent en décoration, salles de séjour, restaurants, bars, etc.

### B- L'Acier :

#### 1- Définition :

**Alliage** de fer et de carbone avec une teneur en carbone inférieure à **1,8%**. Les avec un pourcentage plus grand, pouvant aller jusqu'à **6%**, sont appelés **fontes**.

Souvent se trouvent dans l'acier d'autres éléments qui ont pour but de conférer au matériau des propriétés particulières.

## 2- Caractéristiques mécaniques :

Parmi les nombreuses propriétés qui expliquent l'énorme consommation actuelle en acier, on peut rappeler : la grande résistance mécanique, aussi bien à la traction qu'à la compression, qui reste importante, pour certains types spéciaux, même à haute température ; la facilité avec laquelle on peut donner à l'acier les formes les plus diverses grâce aux **machines-outils** ; la possibilité de souder différentes pièces avec une grande précision.

D'autres caractéristiques sont l'**élasticité** limitée ( $21\ 000\ \text{k/N/cm}^2$ ), le faible quotient de dilatation linéaire ( $12 \times 10^{-6}$ ), la **malléabilité**, la **ductilité** et la **plasticité**, alliés à la capacité des aciers de subir des déformations permanentes par l'action d'efforts de traction et de compression.

En outre, une de leurs propriétés spécifiques est de pouvoir être trempée, ce qui leur donne la capacité d'acquérir une particulière résistance mécanique, la **dureté** et la  **finesse du grain cristallin**, par l'effet d'un rapide refroidissement après avoir été portés à une température très élevée.

En effet, avec une telle opération, on parvient à rendre stables, à la température ambiante, des structures du métal qui autrement ne pourraient exister qu'à une température élevée et qui donnent justement à l'acier les propriétés ci-dessus mentionnées.

## C- Le Béton :

### 1- Définition :

Le béton est un mélange de ciment, d'eau et de sable employé dans les constructions. Son poids volumique est de l'ordre de  $2\ 300$  à  $2\ 400\ \text{daN/m}^3$ . S'il est armé, son poids volumique est égal à  $2\ 500\ \text{daN/m}^3$ , son coefficient de **dilatation thermique** est identique à celui de l'acier :  $10^{-5}$ , son coefficient de retrait est de l'ordre de  $2 \cdot 10^{-4}$ .

### 2- Résistance caractéristique :

Dans les calculs du béton armé, on caractérise le béton par sa résistance en compression à **j** jour d'âge. C'est une contrainte qui est notée : **fcj** qui signifie résistance du béton en compression à **j** jour. Son unité est le **mégapascal**.

### 3- Résistance caractéristique en traction :

Elle est notée  $f_{tj}$  qui signifie résistance à la traction du béton à  $j$  jour.

- Relation entre  $f_{cj}$  et  $f_{tj} = f_{tj} = 0,6 + 0,06 f_{cj}$
- Avant 28 jours, le béton a une résistance  $f_{cj}$

$j$

- Inférieure à  $f_{c28}$  : ----- .  $f_{c28}$  pour  $f_{c28} \leq 40 \text{ Mpa}$ .

$$4,76 + 0,53 j$$

### 4- Notations :

$\sigma_{bc}$  : signifie béton en compression

$\gamma_{bc}$  : contrainte du béton en compression

$\epsilon_{bc}$  : déformation du béton en compression

$E_{ij}$  : module de déformation longitudinale instantanée du béton à jour

$E_{vj}$  : module de déformation différée du béton à  $j$  jour

Phase1 : - - - -

$\gamma_{bc}$  est proportionnelle à  $\epsilon_{bc}$

Les déformations sont réversibles, le béton a un comportement élastique.

La loi de **Hooke** s'applique :  $\gamma_{bc} = E_{ij} \cdot \epsilon_{bc}$

Phase 2 : -----

Les déformations augmentent plus vite que les contraintes jusqu'à la rupture. Les déformations sont irréversibles, le béton a un comportement plastique.

## 5- Déformations longitudinales

Le béton est un matériau qui, sous l'application de charges de longue durée, va opérer une modification de sa structure interne afin de mieux accepter les sollicitations. C'est le phénomène de **fluage**. Le BAEL définit donc deux modules d'élasticité :

- **Module de déformation longitudinale instantanée** (durée d'application des charges < 24 heures) :  $E_{ij} = 11\ 000$ .
- **Module de déformation différée** (instantanée + fluage) :  $E_{vj} = 3\ 700$  fcj.

## D- Le Fer :

### 1- Définition :

**Elément chimique (Fe)**; n. at. 26; p. at. 55,847; p.f. 1 536°C; p. éb. 3 000 °C; dens. 7, 86 g/cm<sup>3</sup>, réseau cristallin cubique centre.

C'est le métal de très loin le plus utilisé. En dehors de petits gisements au **Groenland**, on ne trouve le fer à l'état natif que dans les météorites, qui en contiennent **90%**.

Le fer est extrêmement répandu sous forme de minerais, comme les **oxydes (hématite Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et magnétite Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)**, les **oxydes hydratés (limonite Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O)**, les **sulfures (pyrites FeS<sub>2</sub>)**, les **carbonates (sidérite FeCO<sub>3</sub>)**, les **silicates**.

Le fer est extrait des oxydes par **réduction** et **carburation** avec du charbon dans les hauts fourneaux, où se forme d'abord de la **fonte** qui peut être convertie en **acier** ; le fer peut aussi être tiré des produits solides (**oxydes de fer**) obtenus comme résidu dans le grillage des pyrites.

### 2- Caractéristiques chimiques :

Le fer existe sous trois formes cristallines appelées **fer x**, **fer o** et **fer y** (cubiques centrées pour les deux premières, cubique à faces centrées pour la troisième). Au moment où il se solidifie, il est sous la forme o, stable jusqu'à **1 401°C**. A cette température, il se transforme en fer y, stable jusqu'à **906°C** ; au-dessous de cette température, c'est la forme x qui est stable (**ferrite**), **magnétique** au-dessous de **768°C**. A l'air, le fer réagit lentement en présence d'eau, se recouvrant de **rouille (carbonate basique hydraté)**, alors qu'il reste inaltéré dans l'air sec. Chauffé au rouge, il peut

décomposer l'**eau** en libérant de l'**hydrogène** ; il est facilement attaqué par l'**acide chlorhydrique** et par l'**acide sulfurique** dilués ; il ne se dissout pas dans l'**acide nitrique** concentré, car il se forme une couche compacte et protectrice d'oxyde.

Le fer donne deux séries principales de composés : les **composés ferreux (degré d'oxydation +2)** et les **composés ferriques (degré d'oxydation +3)**. Il existe aussi des composés où le fer est présent avec pour degrés d'oxydation **0** (par exemple : les **fer-carbonyles**) et **+ 6** (les **ferrates**). Les composés ferriques sont généralement plus stables que les composés ferreux : la valeur du potentiel normal d'**oxydoréduction** du couple **Fe<sup>3+</sup> / Fe<sup>2+</sup>**, égale à **0,77 volt**, montre en effet que le fer+2 à une certaine tendance à s'oxyder en donnant du fer+3.

### **E- Le Sable :**

**Matériau clastique** dérivé de la **désagrégation** des **roches**, en général **siliceuses** ou **quartziques**, sous l'action mécanique des **agents atmosphériques**, des **fleuves** ou des **vagues**.

Le sable se présente sous forme de **granules fins**, dont les dimensions sont comprises entre **0,02 mm** et **2 mm**.

Selon la quantité de **grenat** ou de **magnétite** et d'**ilménite** contenue, on a des **sables rouges** ou **noirs** ; en présence de **glauconite**, on a des sables de couleur **verdâtre**.

Le sable peut être produit artificiellement en moulinant des roches ; dans ce cas, les granules présentent des **arêtes** plus nettes et irrégulières, surtout par rapport à celles des sables marins.