



Chapitre 1

# Formulation et propriétés mécaniques du BÉTON ARMÉ

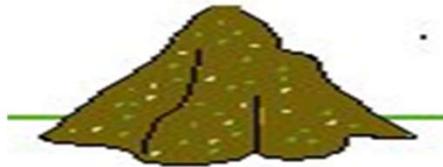


A.N.GHENIM

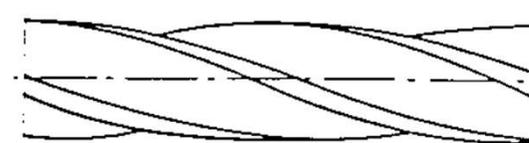
## LE BETON ARME - Définition

C'est un matériau obtenu par **association** de **béton** et **d'armatures métalliques** en forme de barres.

béton

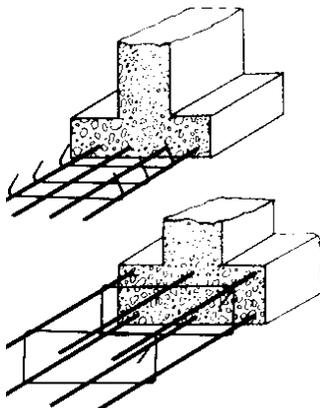


Acier

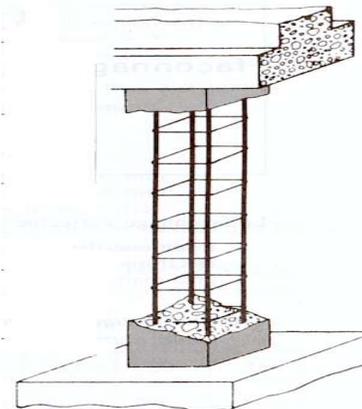


Exemple de pièces en B.A :

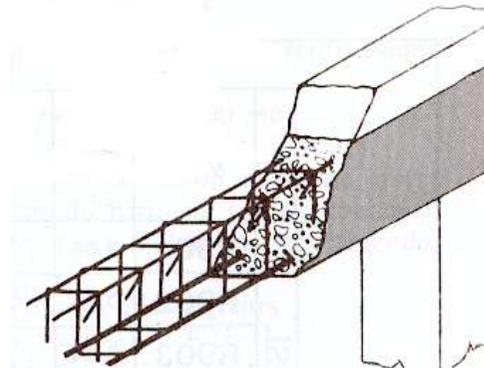
SEMELLE DE FONDATION



POTEAUX



POUTRE



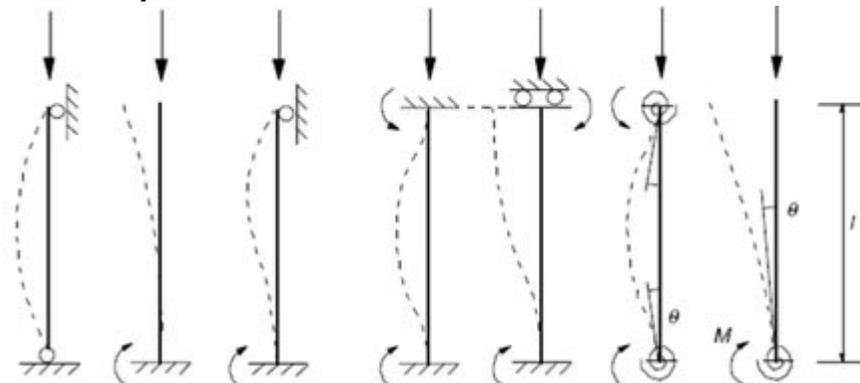
## Pourquoi cette association?

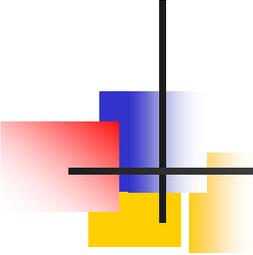
- ◆ Le béton est caractérisé par son **excellente résistance à la compression** et une **mauvaise résistance à la traction**. Les zones tendues sont fissurées.

La traction peut résulter principalement soit :

- a) d'une sollicitation de traction simple
- b) d'une sollicitation de flexion simple
- c) d'une sollicitation de cisaillement

- ◆ L'acier bénéficie d'une **excellente résistance en compression et en traction**. Mais dans le cas de la compression il faut veiller à éviter le flambement des armatures.



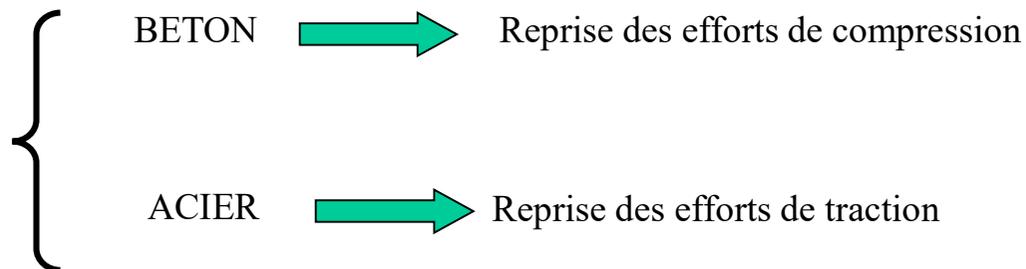


## Pourquoi on a choisi l'acier pour être associé au béton?

- Son coefficient de dilatation est sensiblement égal à celui du béton ( $11 \cdot 10^{-6}$  pour  $10 \cdot 10^{-6}$ ).
- Sa résistance à la traction est très élevée alors que le béton présente une résistance à la compression très importante.

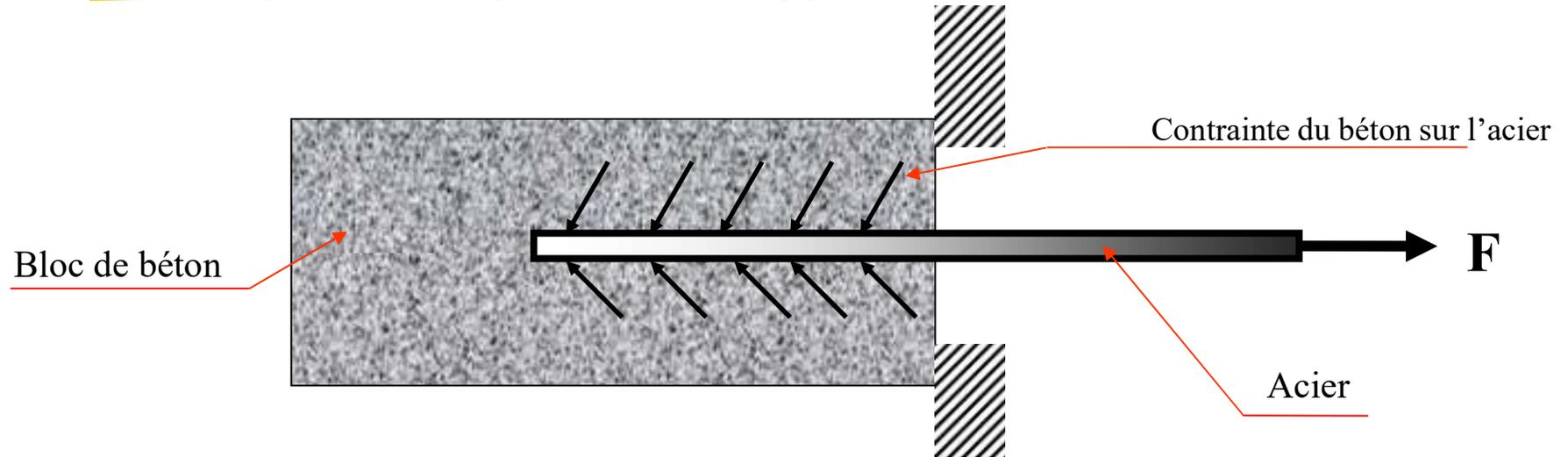
En conséquence, deux matériaux parfaitement complémentaires du point de vue comportement physique et mécanique

### Conclusion :



## Pourquoi cette complémentarité?

C'est grâce à un phénomène appelé : **ADHERENCE ACIER-BETON**



Cette adhérence est très importante lorsque l'acier est convenablement **enrobé** par le béton. Ce phénomène a un rôle capital car il permet la transmission des efforts du béton à l'acier et inversement. L'adhérence n'est donc pas un collage.

C'est plutôt un phénomène mécanique attribué à :

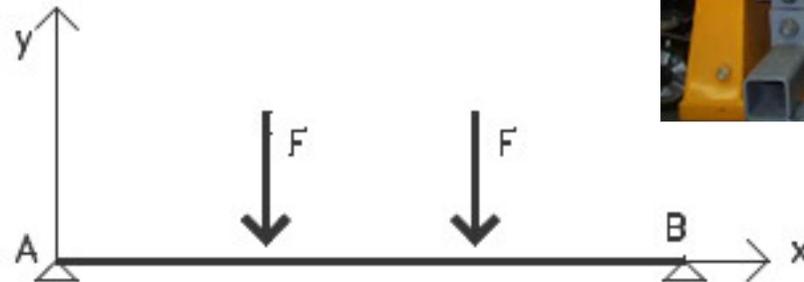
- Une liaison chimique (liaison de la CaO avec la ferrite de l'acier pour former un film de rouille) et,
- Une liaison physique (frottements et contraintes de cisaillement).

# LE BETON ARME - Principe

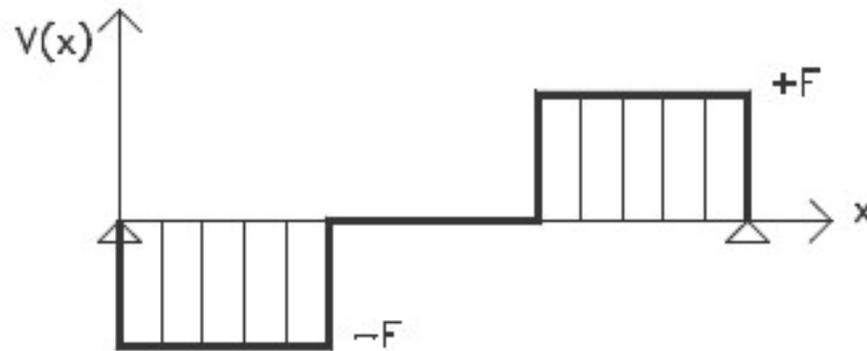
Considérons une poutre en flexion:



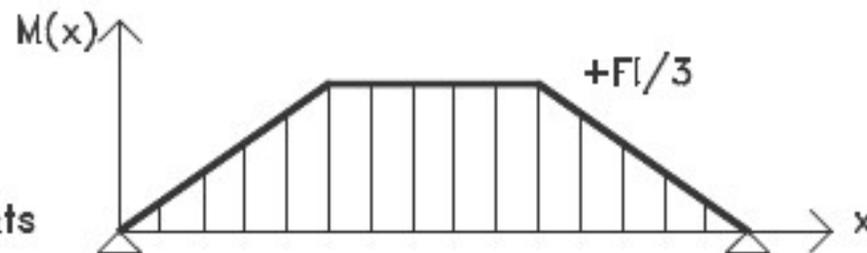
Schéma mécanique

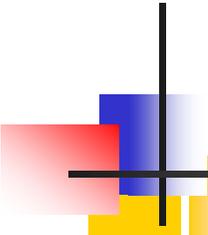


Efforts tranchants

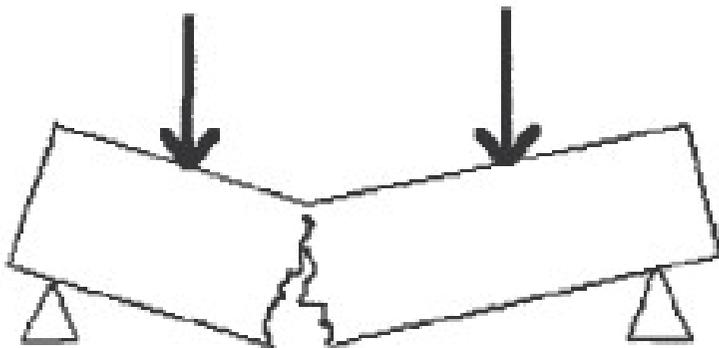


Moments fléchissants



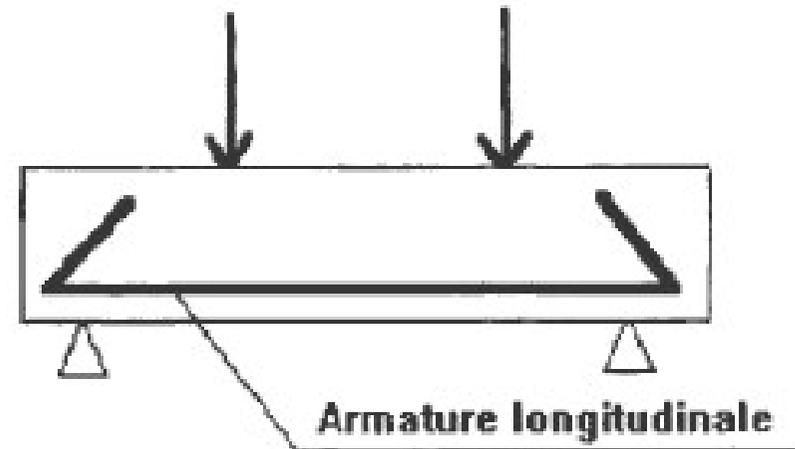


La rupture intervient brutalement sous une charge faible suite à une insuffisance en traction.



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

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

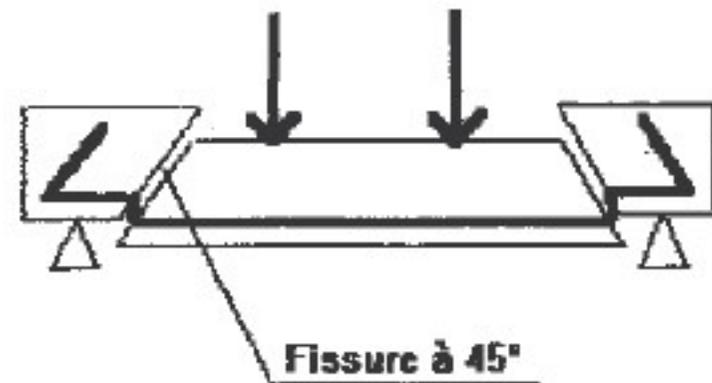
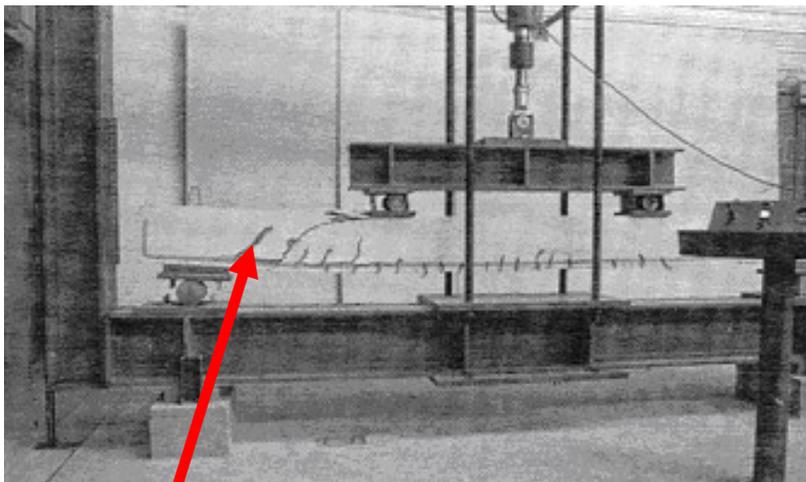


Sous charges, des fissures apparaissent en partie centrale.

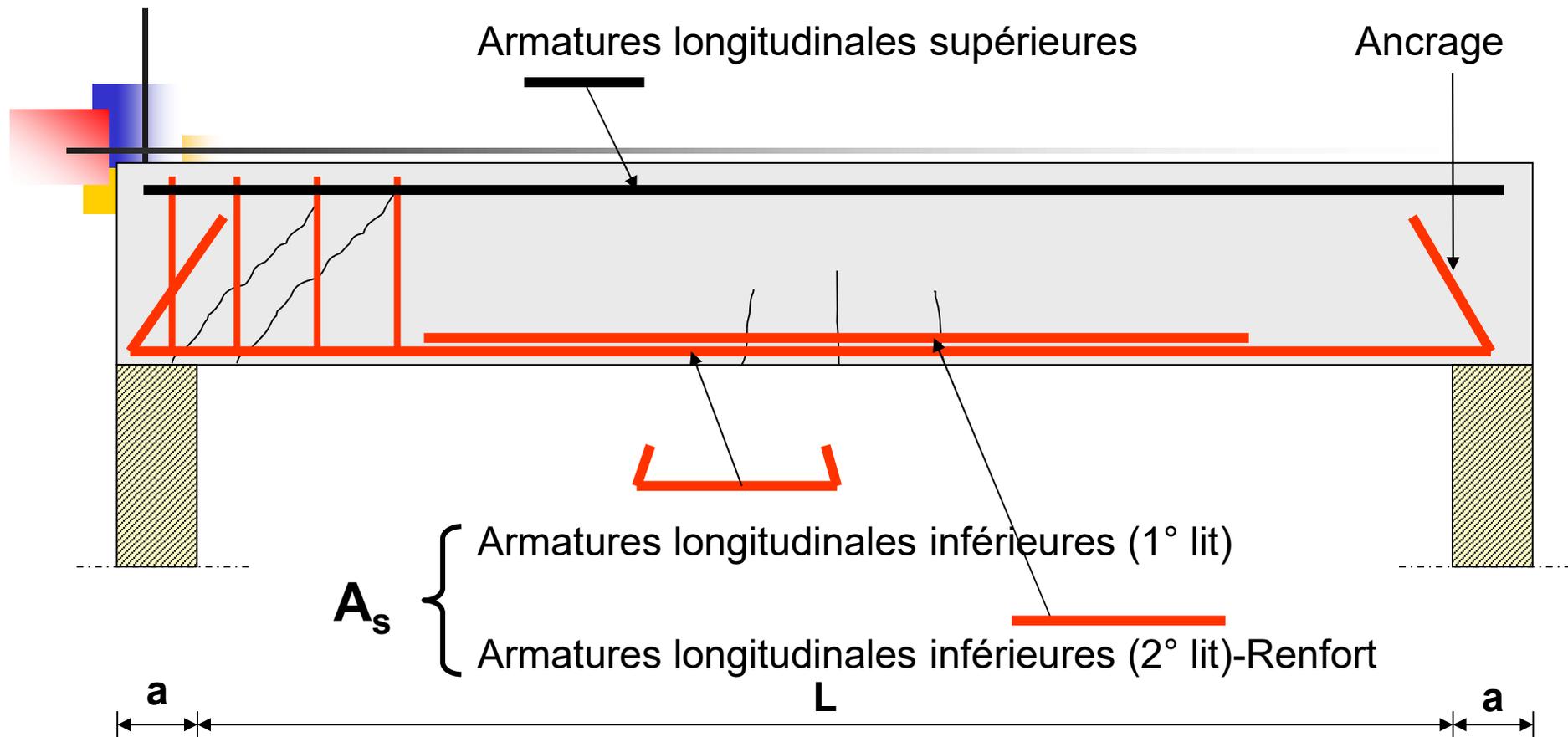
A ce moment, le béton a donc cessé de résister en traction et c'est l'acier qui a pris le relais. Les armatures empêcheront ces micro-fissures de s'ouvrir davantage et prendront seuls en compte les efforts de traction.

# MAIS

En augmentant les charges appliquées, des fissures à 45° se créent au niveau des 2 zones d'appuis provenant d'une insuffisance de résistance du béton à l'effort tranchant.



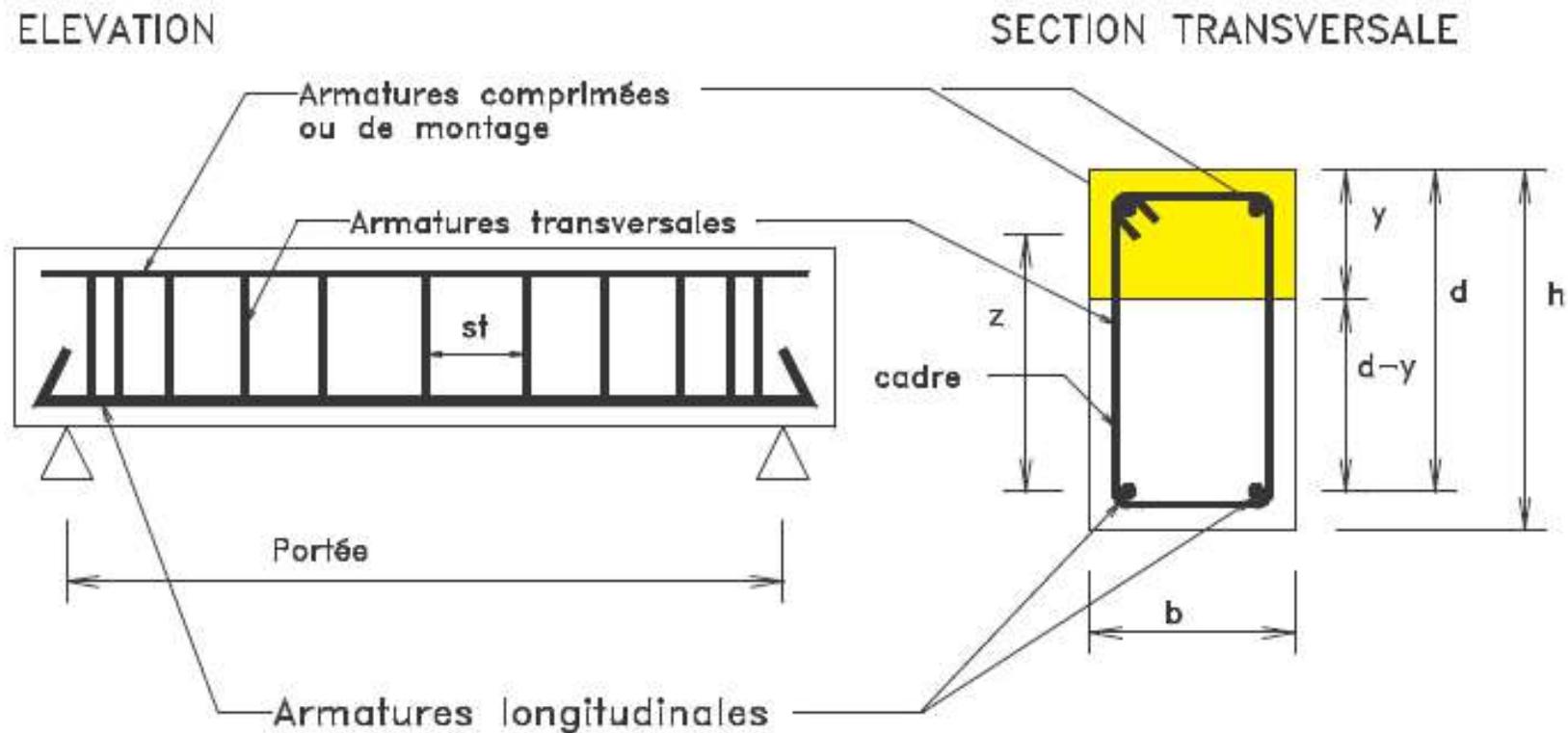
Les fissures inclinées, près des appuis, vont brusquement s'ouvrir et provoquer la rupture de la poutre. Pour empêcher ce type de rupture, il faut prévoir des armatures transversales (cadres).



Si l'on ajoute 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.

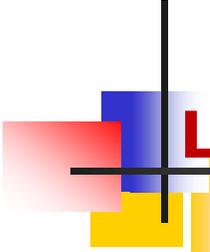
On peut alors dégager à partir des éléments précédents le schéma de principe de ferrailage d'une poutre en béton armé en flexion :



## LE BETON ARME - Historique

- 1848 Joseph Louis Lambot (cultivateur) : béton de chaux hydraulique associé à des armatures métalliques. Réalisation d'une barque





## LE BETON ARME - Historique

---

- ❑ 1849 Joseph Monier (jardinier) réalise des caisses en béton armé pour Versailles.
- ❑ 1867 Dépôt du brevet de Joseph Monier « Monier béton bau »
- ❑ Fin du XIX siècle premiers principes théoriques par François Hennebique
- ❑ 1895 Premières réalisations industrielles : poutres préfabriquées pour un immeuble à Biarritz (Coignet).
- ❑ 1897 Premier cours de béton armé à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (Charles Rabut).
- ❑ 1906 Première circulaire ministérielle « Instructions relatives à l'emploi du béton armé », établie par la commission du ciment armé présidée par Armand Considère.
- ❑ 1945 Premier règlement de béton armé (BA 45)
- ❑ Règles BA1960, CCBA68 calculs aux « contraintes admissibles »
- ❑ 1990 B.A.E.L (Eurocode 2): calculs aux états limites (ELS et ELU)

# CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX CONSTITUANT LE BETON ARME

## 1. LE BETON :

Le **béton hydraulique** est un mélange optimal de **liants** (ciments artificiels), de **granulats** naturels ou artificiels (sables, gravillons, graviers...), d'**eau** et éventuellement d'**adjuvants** (entraîneurs d'air, plastifiants, hydrofuges...)



Ses principales caractéristiques sont :

- une bonne résistance en compression simple,
- une mauvaise résistance en traction (environ 1/10 de sa résistance à la compression),
- un poids volumique compris entre 22 et 24 kN/m<sup>3</sup> environ pour le béton, et 25 kN/m<sup>3</sup> pour le béton armé,
- un coefficient de dilatation thermique identique à celui de l'acier de 10<sup>-5</sup>/°C

## Quelques caractéristiques du béton



### Retrait et gonflement :

Le **retrait du béton** est une contraction dimensionnelle (diminution de volume) due à des phénomènes chimiques et physiques. Ce phénomène se produit dès la mise en œuvre du béton, pendant sa prise et son durcissement et se développe au cours du temps. Il est dû principalement à l'évaporation de l'excès d'eau gaché.

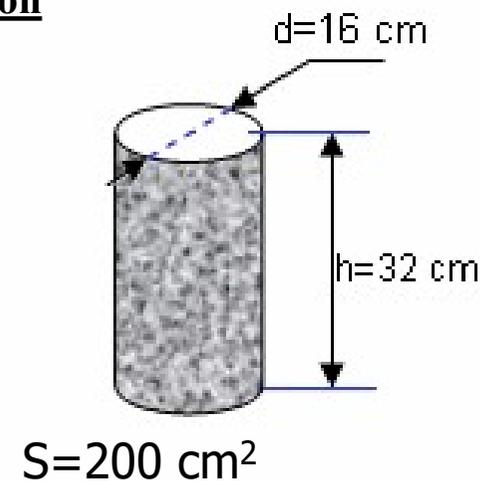
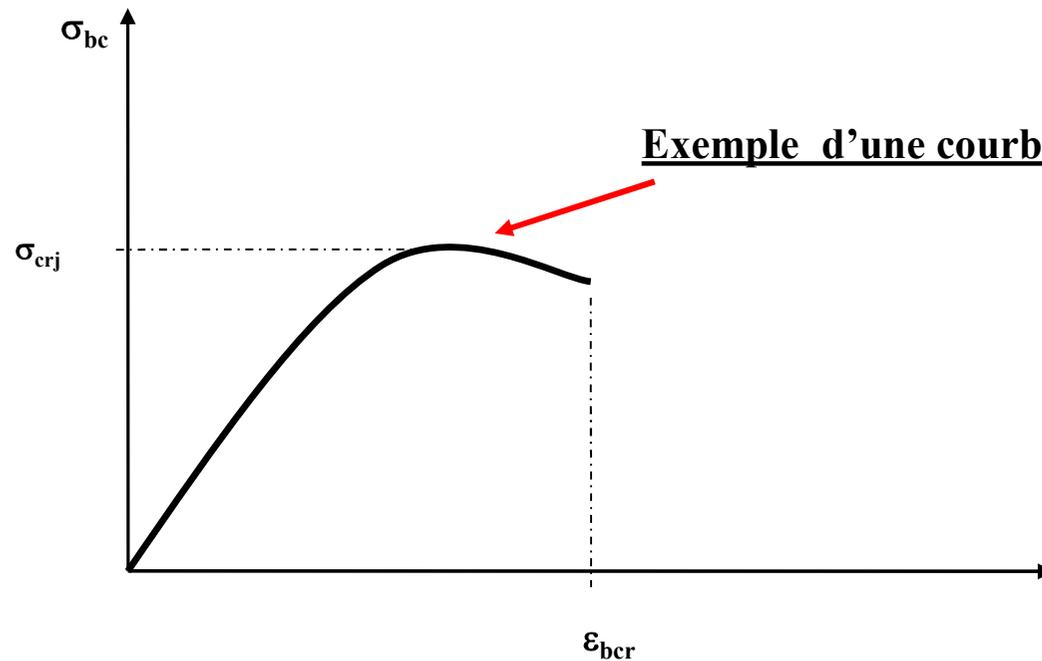
Le retrait du béton est indépendant de tout chargement du matériau.

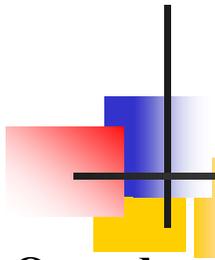
Lorsque le béton est mis dans un environnement saturé d'eau, il a tendance à absorber de l'eau et **gonfle**



## Résistance à la compression du béton:

Elle est mesurée par compression axiale de cylindres droits de 16 cm de diamètre, soit de 200cm<sup>2</sup> de section, et d'une hauteur double de leur diamètre (32cm).





Quand on augmente progressivement  $\sigma_{bc}$  on observe 3 phases:

Phase 1 : Pas de fissuration du béton.

Phase 2 : Apparition de micro fissures longitudinales.

Phase 3 : apparition de fissures verticales dans la partie centrale la rupture se produit par glissement

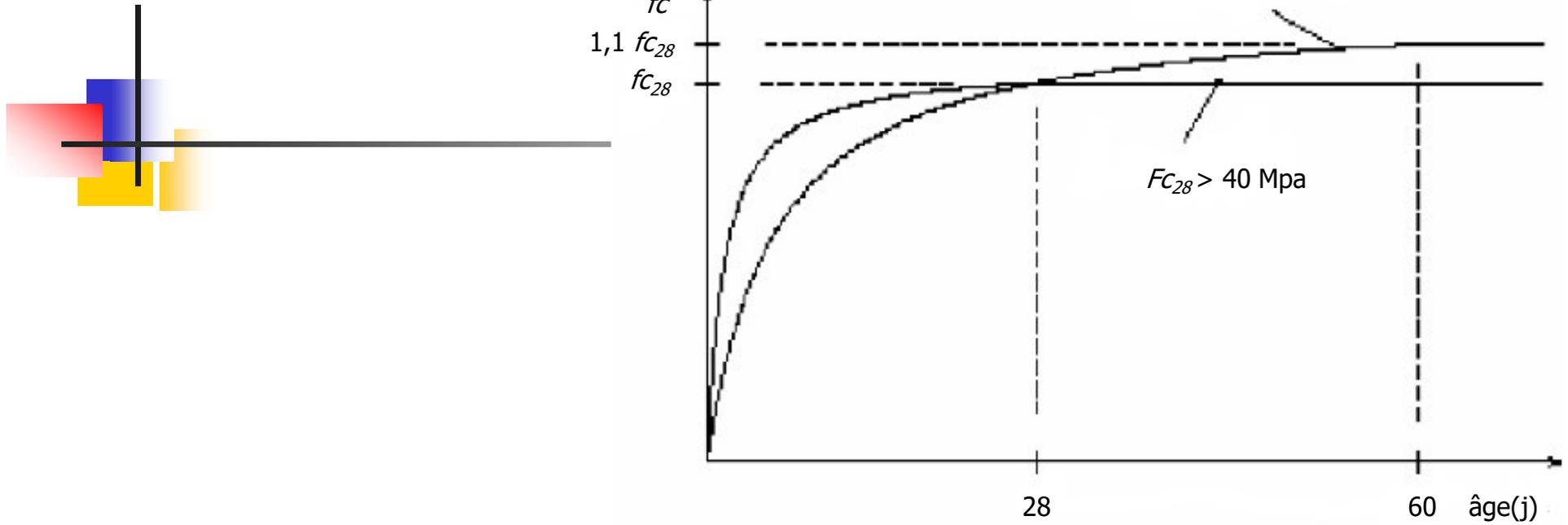


A partir des résultats de cet essai, un béton est défini par une valeur de sa résistance à la compression (notée  $f_{c28}$  en Mpa) à l'âge de 28 jours, dite "**valeur caractéristique requise**".

Cette valeur de la résistance au dessous de laquelle peuvent se situer au plus 5% de la population de tous les résultats des essais sur éprouvette 16x32, **varie en fonction de l'âge du béton**.

$f_{cj}$  est définie comme la résistance en compression du béton en fonction de son âge "j" en jours.





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

Aussi, la valeur conventionnellement retenue pour le calcul des ouvrages est  $f_{c28}$ , la résistance caractéristique du béton à 28 jours.

- Pour  $f_{c28} < 40 \text{ Mpa} \rightarrow f_{cj} = \frac{j}{4.76 + 0.83j} f_{c28}$  avec  $f_{c28}$  exprimé en Mpa
- Pour  $f_{c28} > 40 \text{ Mpa} \rightarrow f_{cj} = \frac{j}{1.40 + 0.95j} f_{c28}$

## Résistance à la traction du béton:

La résistance du béton est également définie par la résistance caractéristique à la traction  $f_{tj}$  à j jours qui est conventionnellement introduite par la relation :

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

Dans cette relation qui n'est valable que si  $f_{cj} \leq 60\text{MPa}$ ,  $f_{tj}$  et  $f_{cj}$  sont exprimés en MPa.

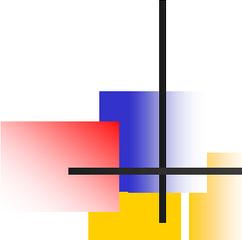
Cela donne:

$f_{c28}$	16MPa	20MPa	22MPa	25MPa	30MPa
$f_{t28}$	1,56MPa	1,80MPa	1,92MPa	2,10MPa	2,40MPa

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

- par l'essai de traction par flexion,
- par l'essai de fendage ou essai brésilien.





## 2. LES ACIERS :

L'acier est un alliage de fer et de carbone. Cet alliage possède une bonne résistance mécanique en traction et en compression. Le fer apporte une base de résistance importante et de la souplesse. Le carbone accroît de façon considérable la résistance de l'acier. Mais c'est un matériau rigide qui fait perdre de la souplesse à l'acier.

L'acier pour le béton armé se présente sous forme de barres appelées « **armatures** ».



Différents types d'aciers pour le béton armé:



Les aciers ronds lisses



Les barres à Haute Adhérence (H.A)



Les fils à haute adhérence.

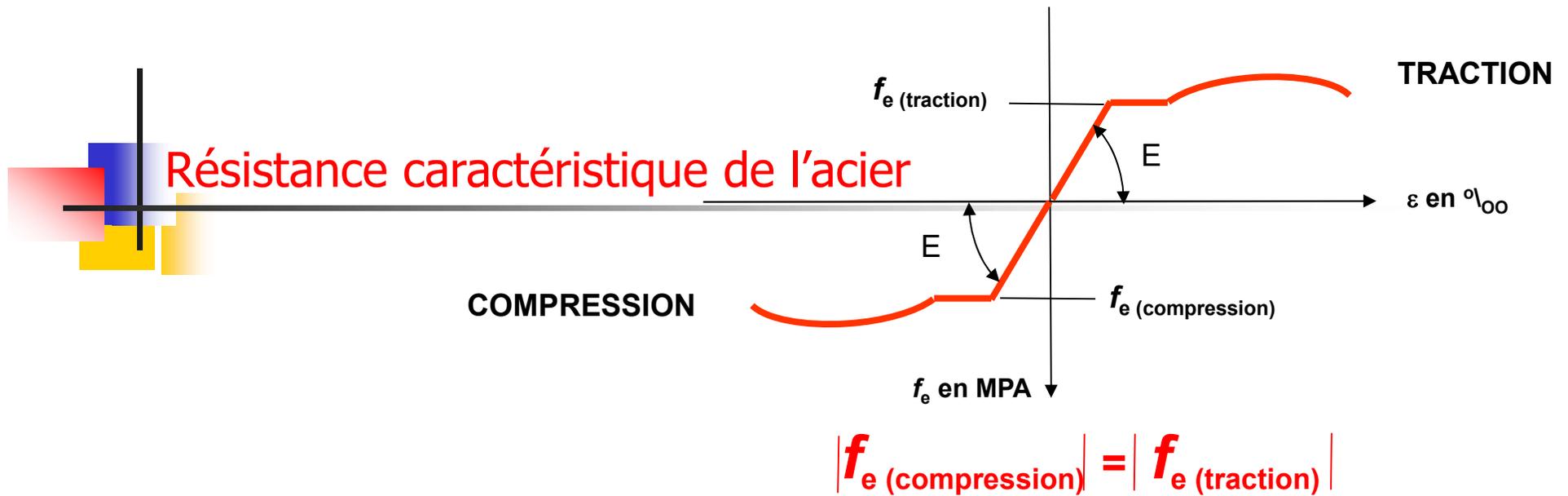


Les treillis soudés.



Les diamètres les plus utilisés ont des diamètres (mm):

6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 20 – 25 -32 – 40.



Quel que soit le type d'acier utilisé, celui ci est supposé se comporter également en traction et compression. Il n'y a donc pas de distinction entre la résistance à la traction et à la compression.

On définit donc la résistance caractéristique de l'acier comme étant sa limite élastique garantie :  $f_e$ .

	Aciers ronds lisses		Aciers à hautes adhérence (HA)		Treillis soudés à fils lisses	Treillis soudés à haute adhérence (HA)
<b>Désignation</b>	<b>Fe E 215</b>	<b>Fe E 235</b>	<b>Fe E 400</b>	<b>Fe E 500</b>	<b>TLE 500</b>	<b>Fe TE 500</b>
$f_e$ [Mpa]	<b>215</b>	<b>235</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>

$f_e$  en fonction du type d'acier