

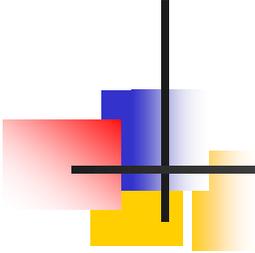


Chapitre 2

Les règles du B.A.E.L (Béton Armé aux Etats Limites)



A.N.GHENIM



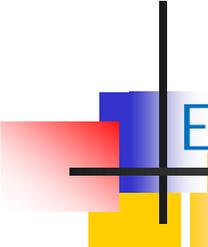
BETON ARME - Notion d'état limite

Une construction doit résister aux efforts, porter des charges et les transmettre... Cela implique des conditions : **stabilité, durabilité, déformations admissibles**.

Définition:

Un **état limite** est un état pour lequel une **condition requise** d'une construction (ou d'un de ses éléments) est strictement satisfaite et cesserait de l'être en cas de variation défavorable d'une des actions appliquées.

Les règles actuelles du béton armé (BAEL, Eurocodes) se basent sur la définition de 2 états limites:



Etat Limite de Service (ELS)

Les limites de bon fonctionnement de la structure ont été atteintes. La durabilité de la structure est remise en cause.

➤ Etat limite d'ouverture de fissures : risque d'ouverture de fissures :

La contrainte dans les armatures ne dépassent pas une certain valeur.

➤ Etat limite de compression du béton :

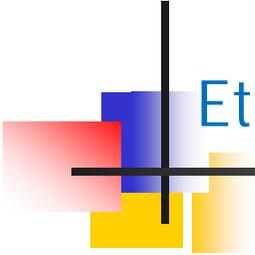
On limite volontairement la contrainte de compression à une valeur raisonnable afin d'empêcher la formation de fissures parallèles à la direction des contraintes de compression.

➤ Etat limite de déformation :

La flèche maximale dans les éléments de l'ouvrage doit être inférieure ou égale à la flèche admissible ($f_{\max} \leq f_{\text{adm}}$)

Lorsque l'état limite de service est atteint, l'aptitude au service de la structure n'est plus assurée (**fissures, fuites, désordres divers**).

En revanche, la sécurité (c'est à dire sa résistance) n'est pas remise en cause.



Etat Limite Ultime (ELU)

Il concerne la sécurité des usagers. Le dépassement de cet état conduit à **la ruine de la structure**. Au delà de l'état limite ultime, la résistance maximale des matériaux béton et acier est atteinte, **la sécurité n'est plus garantie** et la structure risque de s'effondrer.

➤ Etat limite de l'équilibre statique :

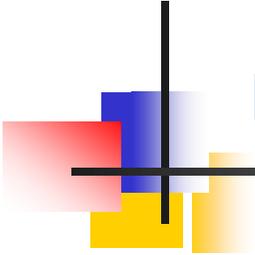
Une construction ne doit pas se renverser sous l'effet des charges qui lui sont appliquées.

➤ Etat limite de résistance de l'un des matériaux :

La résistance des matériaux doit être demeure supérieure ou au moins égale à la sollicitation produite par les charges appliquées.

➤ Etat limite de stabilité de forme : flambement :

Vérification au flambement de chaque élément de la structure soumis à un effort de compression.



Les actions

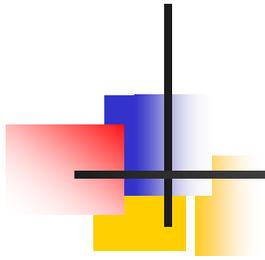
Les actions sont les forces et couples (M , N et T) dus aux charges appliquées (charges permanentes, charges d'exploitation, charges climatiques, etc...).

Valeurs caractéristiques des actions

Les états limites distinguent principalement 2 types d'actions caractéristiques: les **actions permanentes** et les **actions variables**.

1. **Les actions permanentes** : Désignées par la lettre G , elles ont une intensité constante ou très peu variable dans le temps.

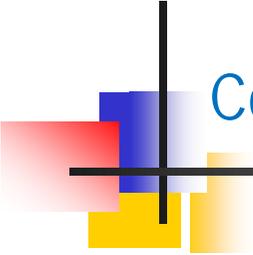
- ◇ Poids propre de la structure.
- ◇ Cloisons, revêtements, superstructures fixes.
- ◇ Poussée des terres, de l'eau.



2. **Les actions variables** : Désignées par la lettre Q , elles ont une intensité qui varie fréquemment et de façon importante dans le temps.

- ◇ Charges d'exploitation (ratio d'utilisateurs, de véhicules, etc.) classées par durée d'application (provisoire, longue durée).
- ◇ Charges climatiques (neige et vent).
- ◇ Effets thermiques.

NOTA : D'autres actions appelées « **accidentelles** » désignées F_A provenant de phénomènes se produisant rarement et avec une faible durée d'application, comme par exemple : **les séismes ; les chocs de véhicules ou de bateaux ; les explosions ; les cyclones ; les incendies**, ne sont à considérer que pour les états limites ultimes.



Combinaison des actions

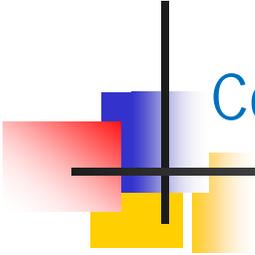
Pour établir le cas de chargement le plus défavorable, les valeurs des actions sont combinées.

Combinaison d'actions aux ELS : La plus courante à l'ELS est la suivante :

$$G_{\max} + G_{\min} + Q_1 + \sum \psi_i Q_i$$

avec :

- G_{\max} : ensemble (somme) des actions permanentes défavorables.
- G_{\min} : ensemble (somme) des actions permanentes favorables.
- Q_1 : action variable de base.
- Q_i : autres actions variables d'accompagnement avec leur coefficient ψ_i



Combinaison des actions

Combinaison d'actions aux ELU : Les plus courantes à l'ELU sont les suivantes :

Situation durable ou transitoire:

$$1.35G_{\max} + G_{\min} + 1.5Q_1 + \sum 1.3\psi_i Q_i$$

avec :

- G_{\max} : ensemble (somme) des actions permanentes défavorables.
- G_{\min} : ensemble (somme) des actions permanentes favorables.
- Q_1 : action variable de base.
- Q_i : autres actions variables d'accompagnement avec leur coefficient ψ_i .

Situation accidentelle:

$$G_{\max} + G_{\min} + F_A + \sum \gamma_{Ai} \cdot Q_i$$

- F_A : valeur représentative de l'action accidentelle.
- γ_{Ai} : coefficient en général égal à 1.5.

Diagramme Contraintes – Déformations de calcul du béton

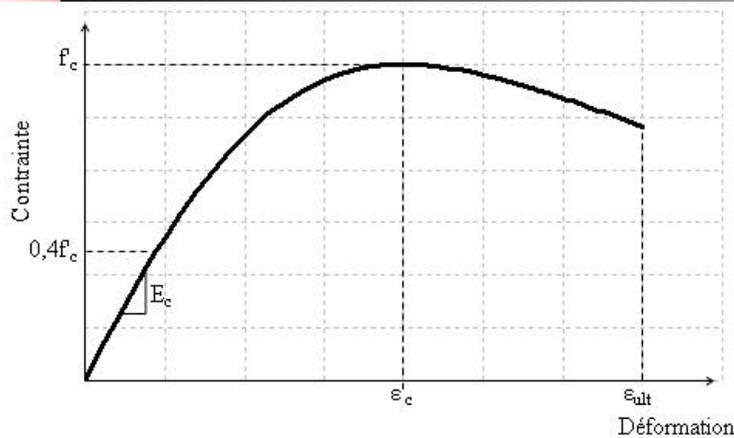


diagramme réel

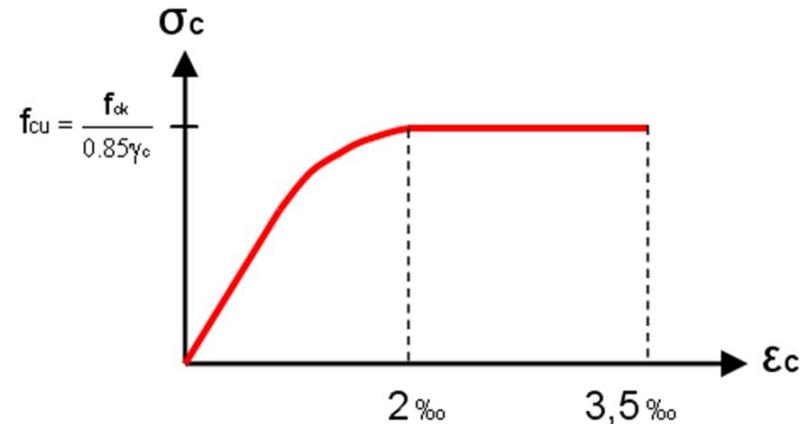


diagramme de calcul

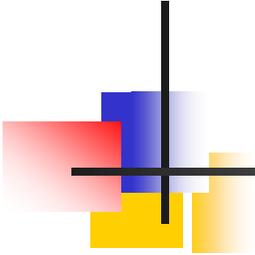
Le béton travaillera au maximum à partir d'une contrainte $\sigma_c = f_{cu}$, c'est à dire pour un allongement unitaire du béton supérieur à $\epsilon_c = 2\text{‰}$.

Le règlement limite l'allongement unitaire du béton à $3,5\text{‰}$

Le béton travaillera au maximum lorsque :

$$2\text{‰} < \epsilon_c < 3,5\text{‰}$$

$\gamma_b = 1,5$ dans le cas général
 $\gamma_b = 1,15$ pour les combinaisons accidentelles



c/ Déformations du béton

Module de déformation longitudinale

Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24 heures, on considère le module de déformation longitudinale instantané E_{ij} à j jours :

$$E_{ij} = 11000 \cdot f_{cj}^{1/3} \text{ (MPa)}$$

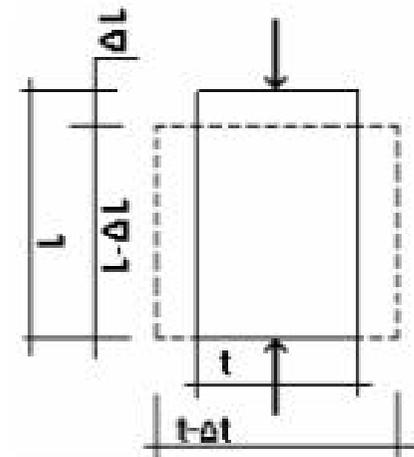
Sous des contraintes de longue durée d'application, les effets du retrait et du fluage du béton rajoutent une déformation complémentaire. Ainsi, la valeur du module de déformation longitudinale différée du béton E_{vj} :

$$E_{vj} = 3700 \cdot f_{cj}^{1/3} \text{ (MPa)}$$

Déformation transversale : Coefficient de Poisson

Le coefficient de Poisson est pris égal à:

- 0 pour le calcul des sollicitations et à;
- 0,2 pour le calcul des déformations.

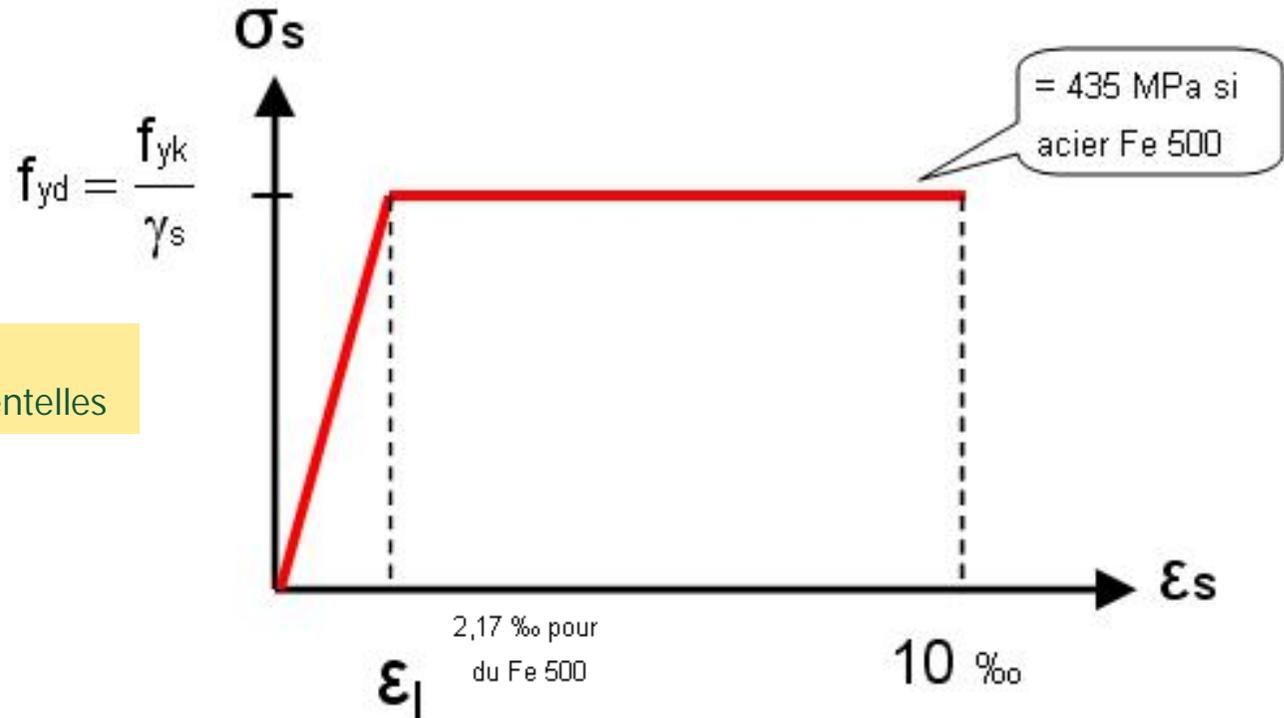


ΔL raccourcissement longitudinal

Δt gonflement transversal

$$\nu = \frac{\Delta_l}{\Delta_j} \quad \text{coefficient de POISSON}$$

Diagramme Contraintes – Déformations de calcul de l'acier



$\gamma_s = 1,15$ dans le cas général
 $\gamma_s = 1$ pour les combinaisons accidentelles

$E_s = 200\,000$ MPa

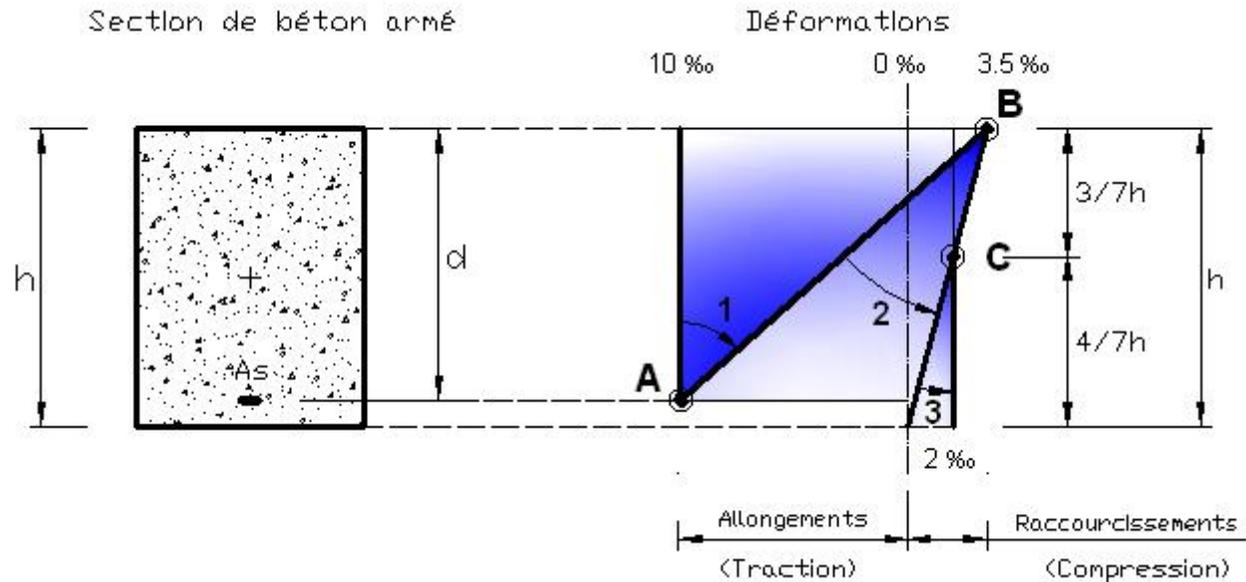
L'acier travaillera au maximum à partir d'une contrainte f_{yd}

Le règlement limite généralement l'allongement unitaire de l'acier à 10 ‰

L'acier travaillera au maximum lorsque :

$$\epsilon_I (2.174 \text{ ‰}) < \epsilon_S < 10 \text{ ‰}$$

Règle des trois pivots



Analyse du diagramme des déformations

Pivot A Domaine 1	Pivot B Domaine 2	Pivot C Domaine 3
Allongement de l'acier : $\epsilon_s = 10 \text{ ‰}$	Raccourcissement du béton comprimé $\epsilon_{bc} = 3.5 \text{ ‰}$	Raccourcissement du béton comprimé $\epsilon_{bc} = 2 \text{ ‰}$ pour $y_u = 3/7h$
Traction simple : <ul style="list-style-type: none"> • Limite AA' • béton entièrement tendu Flexion simple ou composée <ul style="list-style-type: none"> • acier tendu $\epsilon_s = 10 \text{ ‰}$ • béton partiellement comprimé $0 \leq \epsilon_{bc} \leq 3.5 \text{ ‰}$ 	Flexion simple ou composée : <ul style="list-style-type: none"> • acier tendu $\epsilon_s = 10 \text{ ‰}$ • béton partiellement comprimé 	Compression simple : <p>Si la droite de déformation est parallèle à la droite représentative de la section avant déformation, sinon flexion composée</p>

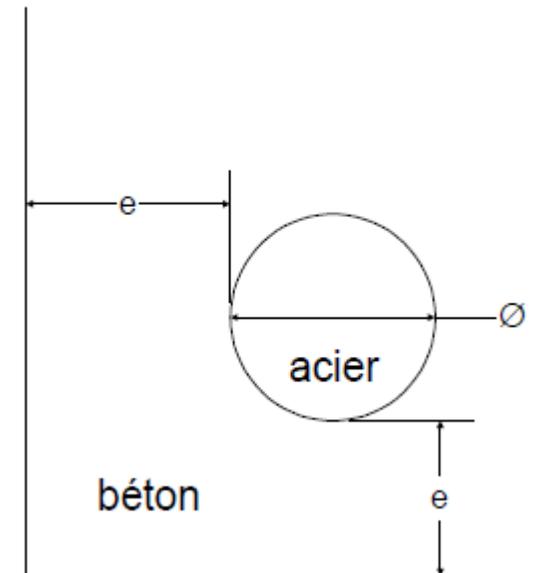
Dispositions constructives

Enrobage des armatures

Afin de protéger les armatures de la corrosion, celles ci doivent être suffisamment enrobées de béton. Est défini l'enrobage e .

L'enrobage e de toutes armatures est au moins égal à :

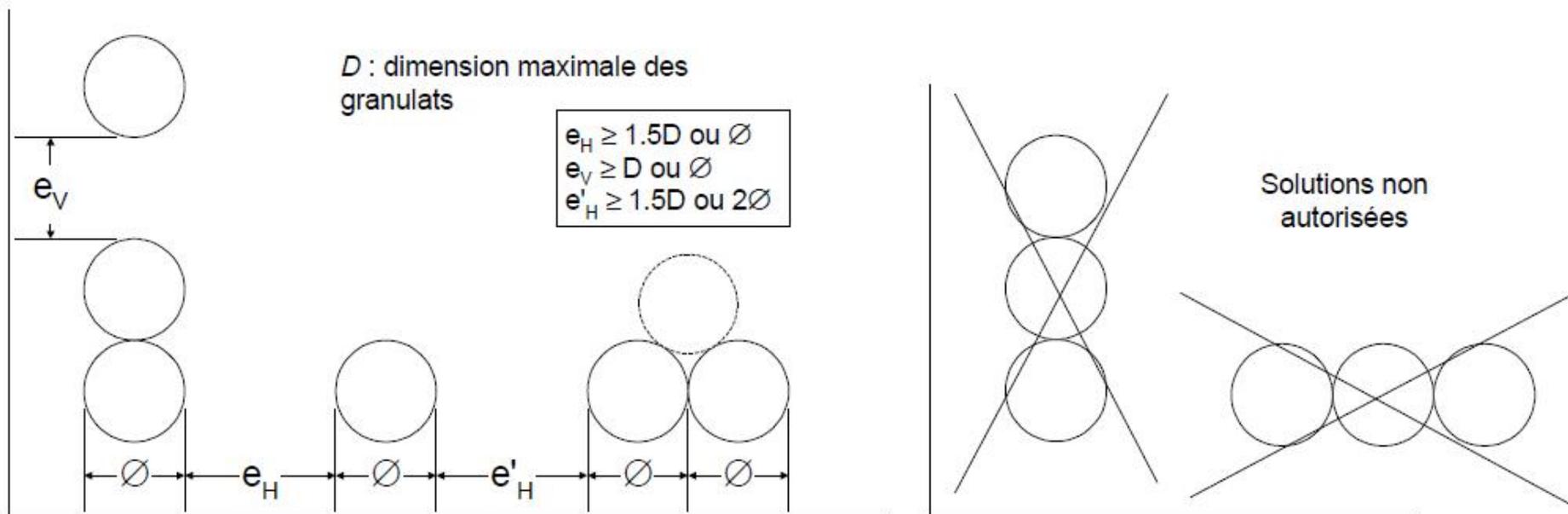
- ✓ 1 cm : locaux couverts non exposés aux condensations.
- ✓ 3 cm : exposé aux intempéries, condensations et liquide ou actions agressives.
- ✓ 5 cm : atmosphère très agressive, mer, fondations et toujours supérieur à ϕ .



Groupements d'aciers

Les armatures sont souvent groupées en paquets. Mais leur disposition doit être compacte et opposer le minimum de gêne lors du coulage du béton (en particulier à cause de la taille des granulats).

On retiendra les dispositions constructives suivantes :



Dispositions constructives pour les groupements d'armatures