

Chapitre 1

Formulation et propriétés mécaniques du béton armé

Chapitre 1

Formulation et propriétés mécaniques du béton armé

Définition

Le **béton** est un mélange dans des proportions préétablies de granulats gros et fins (gravillons ou pierres concassées, sable), de ciment et d'eau et éventuellement des adjuvants (Fig. 1.1). Les adjuvants peuvent être employés dans le béton afin d'améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

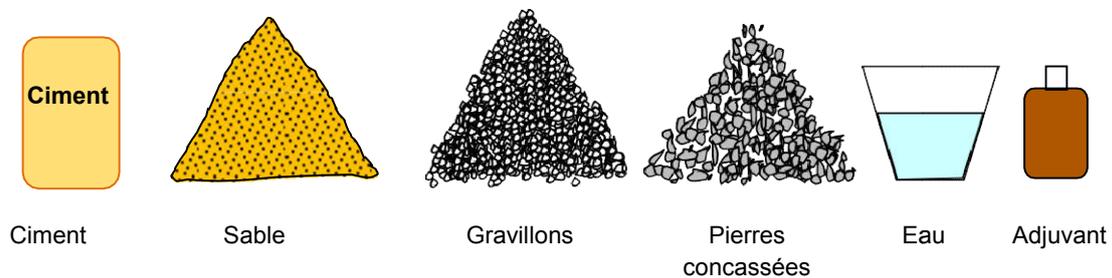


Fig. 1.1 : Les composants du béton

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.

Principe du béton armé

Dans la plupart des structures, certaines parties sont soumises à des contraintes de compression et d'autres à des contraintes de traction. Or le béton est un matériau qui résiste fort bien en compression mais très mal en traction, alors que l'acier y résiste très bien. D'où l'idée de placer des barres d'acier dans les zones où se produisent des efforts de traction dirigés dans le sens de ces efforts; on pourra donc voir apparaître dans ces zones des microfissures du béton sous l'effet des contraintes de traction mais les aciers empêcheront les fissures de s'ouvrir et prendront seuls à leur compte les efforts de traction.

Historique des règles de conception et de calcul des ouvrages en béton armé

En France :

- Circulaire du Ministère des Travaux Publics de 1906 (France) ;
- Circulaire Ministérielle de 1934 (30 pages) ;
- Règles BA 45 (90 pages) ;
- Règles BA 60 :
- Circulaire Ministérielle de 1964 ;
- Règles CC BA 68 :
- Règles BAEL 80 modifiées en 83, « Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites » ;
- Règles BAEL 91 (145 pages) ;
- Eurocode 2 "Règles unifiées communes pour les structures en béton".

En Algérie :

- **CBA 93** : Document technique réglementaire D.T.R. B.C. 2.41 « **Règles de conception et de calcul des structures en béton armé** », en abrégé « C.B.A 93 », ce document est approuvé par le ministère de l'habitat en 1993.

La méthode des états limites

Définition d'un état limite

Un « **état limite** » est celui 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 modification défavorable d'une action.

Etats limites ultimes et états limites de service

Un ouvrage doit être conçu et calculé de manière à présenter pendant toute sa durée de vie des sécurités suffisantes vis-à-vis :

- de sa ruine ou de celle de l'un de ses éléments,
- d'un comportement en service susceptible d'affecter gravement sa durabilité, son aspect, le confort des usagers.

- Le BAEL distingue deux catégories d'états limites :

➤ **Etats Limites Ultimes (E.L.U.)**

On distingue:

- **Etat limite d'équilibre statique:** stabilité des constructions ;
- **Etat limite ultime de résistance** (symbole E.L.U.R.) : matériaux constitutifs ;
- **Etat limite de stabilité de forme** (symbole E.L.U.S.F.) : non risque de flambement.

➤ **Etats Limites de Services (E.L.S.)**

On distingue:

- **Etat limite de compression du béton :** une contrainte de compression à ne pas dépasser
- **Etat limite de déformation :** flèche maximale.
- **Etat limite d'ouverture de fissures :** risque d'ouverture de fissures.

Domaine d'application des règles BAEL

Ces règles sont applicables à tous les ouvrages et constructions en béton armé, et dont le béton est constitué de granulats naturels normaux, avec un dosage en ciment au moins égal à 300 kg par m³ de béton mis en œuvre.

- Restent en dehors du domaine de ces règles : les constructions en béton non armé ou en béton léger, les structures mixtes acier-béton et les éléments soumis à des températures s'écartant des influences climatiques normales, les constructions en béton de résistance caractéristique supérieure à 60 MPa.

Constituants du béton armé

Le béton

- On a vu au paragraphe 1.1 que le béton est un mélange de : (Tableau 1.1)
 - **pâte pure** (ciment + eau + air);
 - **granulats** (sables, gravillons et plus rarement pierres cassées);
 - **produits** d'addition éventuels (adjuvants).

Tableau 1.1 : Pourcentage en volume absolu des constituants du béton

Constituants	Eau	Air	Ciment	Granulats
Pourcentage en volume absolu	18 à 28	1 à 6	7 à 14	60 à 78

- La composition du béton a une grande influence sur ses caractéristiques, mais si les caractéristiques attendues sont la plus part du temps bien définies, la mise au point du béton approprié peut s'avérer plus délicate.
- Le béton est préparé soit sur le chantier, soit en centrale à béton.
- Le béton est caractérisé par :
 - une bonne résistance en compression simple,
 - une mauvaise résistance en traction,
 - 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
 - un coefficient de dilatation thermique identique à celui de l'acier de 10⁻⁵/°C.

Les granulats

- Les granulats est l'ensemble de grains minéraux appelés, fines, sables, gravillons ou cailloux, suivant leur dimension comprise entre **0** et **80mm** (voir Tableau 1.2).
- Pour les granulats utilisés en béton armé, on distingue :
 - ☞ les granulats alluvionnaires dits roulés (forme acquise par l'érosion).
 - ☞ les granulats de carrières aux formes angulaires (obtenus par abattage et concassage).

Tableau 1.2 : Catégories des granulats suivant la grosseur de grains

Appellation	Fines	Sable	Gravillons	Cailloux et pierres cassées
Catégories suivant La grosseur de grains en mm	< 0,080	Fins: 0,080 à 0,315 Moyens: 0,315 à 1,25 Gros: 1,25 à 5	Petits: 5 à 8 Moyens: 8 à 12,5 Gros: 12,5 à 20	Petits: 20 à 31,5 Moyens: 31,5 à 50 Gros: 50 à 80

Le ciment

- Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. On distingue différents types de ciment et différentes classes de résistance (voir tableaux 1.3 et 1.4).
- Le choix d'un ciment se fait suivant les critères suivants :
 - Prestations élevées à court terme ex.: CEM I 52.5 **R** ou CEM III/A 52.5 **R**
 - Température de bétonnage :
 - Temps froid : CEM I 52.5 ou CEM I 42.5
 - Temps chaud : CEM III/C 32.5
 - Présence de sulfates ex.: CPJ CEM II/B-S 42.5N-ES

Tableau 1.3 : différents types de ciments courants

Types de ciments	Désignations
Ciment Portland	CPA-CEM I
Ciment portland composé	CPJ-CEM II/A
	CPJ-CEM II/B
Ciment de haut fourneau	CHF-CEM III/A
	CHF-CEM III/B
	CLK-CEM III/C
Ciment pouzzolanique	CPZ-CEM IV/A
	CPZ-CEM IV/B
Ciment au laitier et aux cendres	CLC-CEM V/A
	CLC-CEM V/B

Tableau 1.4 : Différentes classes de ciments courants

Classe	Résistance à la compression (MPa) (norme EN 196-1)			
	au jeune âge		à 28 jours	
	2 jours	7 jours	mini	maxi
32,5		(17,5)	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10		≥ 32,5	≤ 52,5
42,5	≥ 10		≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20		≥ 42,5	≤ 62,5
52,5	≥ 20		≥ 52,5	
52,5 R	≥ 30		≥ 52,5	

R : début de durcissement rapide

L'acier

L'acier est un alliage de fer et carbone en faible pourcentage. Les aciers utilisés dans le béton armé sont **des aciers doux, mi-durs et durs**.

On utilise pour le béton armé, **les ronds lisses** (symbole Φ ou RL), **les armatures à haute adhérence** (symbole HA) et **les treillis soudés** (symbole TS) (Fig. 1.2).

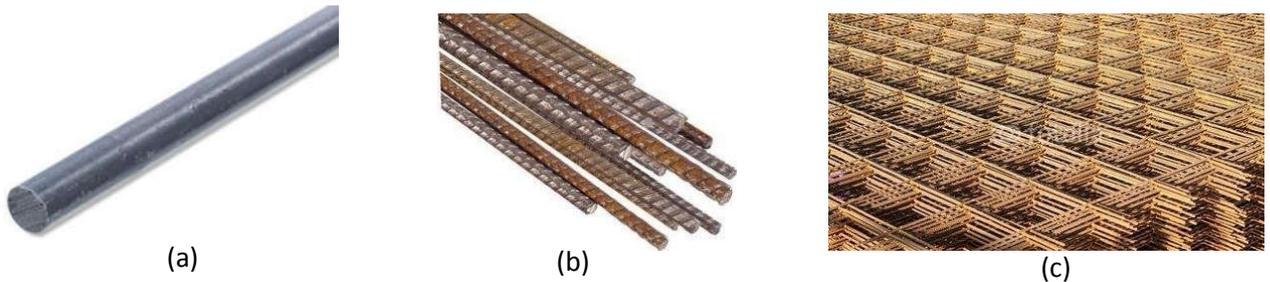


Fig. 1.2: Les aciers utilisés en béton armé : a. Acier rond lisse, b. Acier à haute adhérence, c. Treillis soudés

- On trouve les aciers pour le béton armé sous trois formes : barres, fils et treillis soudés (Fig. 1.3).
- En barres droites, les longueurs courantes de livraison sont de 12 m.

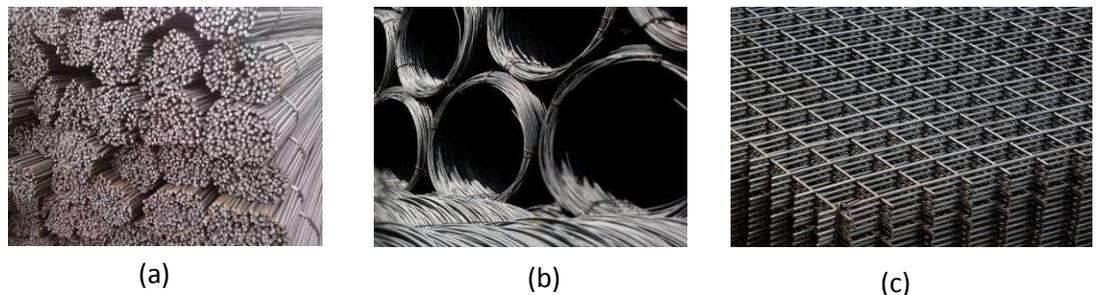


Fig. 1.3: Les formes des aciers pour le béton armé sur le marché : a. barres, b. fils en bobines, c. treillis soudés

- Les diamètres normalisés d'armatures courantes sont : 6,8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32 et 40 mm.
- Au diamètre nominal correspondent une section nominale et un périmètre nominal (section et périmètre d'un rond lisse de diamètre égal au diamètre nominal).
- Le tableau 1.5 donne la section nominale et la masse linéique correspondant aux différents diamètres nominaux.

Tableau 1.5 : Tableau des sections d'acier.

Diamètres	Masse kg/m	Sections totale d'acier en cm ²									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	0,222	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
8	0,395	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,617	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	0,888	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,210	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,31	13,85	15,39
16	1,580	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
20	2,466	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
25	3,850	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
32	6,313	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42
40	9,864	12,57	25,13	37,70	50,26	62,83	75,40	87,96	100,53	113,09	125,66

Exemple : La section totale de 6 HA12 est de 6.79 cm².

Caractéristiques mécaniques des constituants du béton armé

Le béton

Résistances caractéristiques

a. Résistance caractéristique à la compression:

Elle est désignée par f_{cj} (résistance à la compression à " j " jours). Dans le cas courant, pour l'établissement des projets, la résistance de référence est prise à **28j** dite valeur caractéristique requise (ou spécifiée). Elle est notée f_{c28} et choisie en fonction des conditions de fabrication du béton, de la classe du ciment utilise et de son dosage au m³.

Elle se mesure par compression axiale de cylindres de béton $\varnothing 16 \times 32$ cm. La section **S** est de 200 cm² (Fig.1.4). La compression se fait par le biais d'une presse hydraulique (Fig. 1.5).

La résistance à la compression du béton est définie à (**j**) jours, à partir de la charge (**F_r**) conduisant à sa rupture :

$$f_{cj} \text{ (MPa)} = \frac{F_r}{S}$$

Exemple : $f_{cj} = 25$ MPa

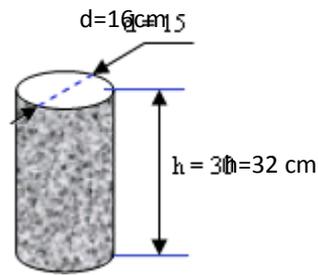


Fig. 1.4 : Epreuves cylindriques (diamètre 16 cm, hauteur 32 cm),



Fig. 1.5 : Ecrasement d'éprouvettes de béton avec une presse hydraulique

- L'essai de compression simple sur éprouvette 16x32 provoque des déformations (Voir Fig. 1.6):

- ε : déformation relative longitudinale

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l' - l}{l}$$

- ε' : déformation relative transversale

$$\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d} = \frac{d' - d}{d}$$

- ν : coefficient de poisson,

$$\nu = \frac{\text{déformation relative transversale}}{\text{déformation relative longitudinale}} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$$

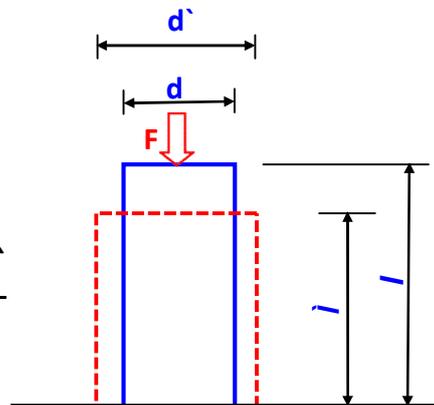


Fig. 1.6 : Détermination des déformations relatives : longitudinale et transversale

- L'essai de compression du béton permet d'obtenir le diagramme expérimental "**contrainte - déformation**" du béton ci-dessous (voir Fig. 1.7).

- La résistance du béton augmente avec l'âge (voir Fig. 1.8).

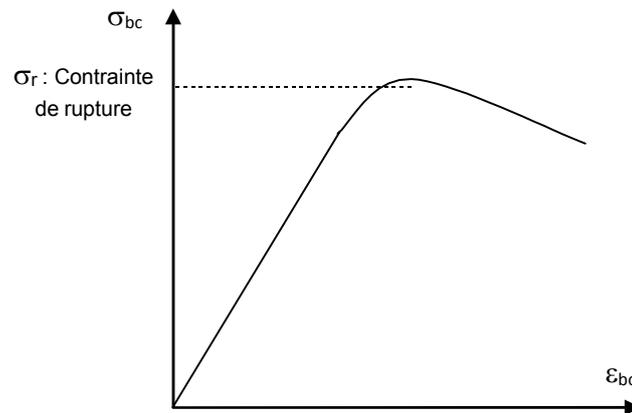


Fig. 1.7 : Diagramme contrainte-déformation du béton en compression.

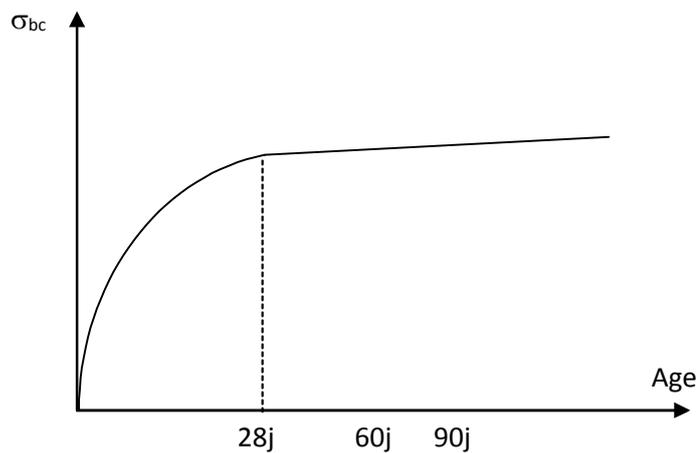


Fig. 1.8 : Diagramme de la résistance à la compression du béton en fonction de l'âge.

- Pour des calculs en phase de réalisation, on adoptera les valeurs des résistances à j jours, définies à partir de f_{c28} , par :

f_{cj}	$f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$	f_{cj}	$40 \text{ MPa} < f_{c28} < 60 \text{ MPa}$
$j < 60$	$\frac{j}{4.76 + 0.83j} f_{c28}$	$J \leq 28$	$\frac{j}{1.40 + 0.95j} f_{c28}$
$j \geq 60$	$1.10 f_{c28}$	$28 < j < 60$	Béton à Haute Résistance, voir (B.A.E.L. A.2.1,11)

b. Résistance caractéristique à la traction:

Elle est désignée par f_{tj} (résistance à la traction à " j " jours). Elle est conventionnellement définie à partir de la résistance à la compression par la relation:

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

- **Exemple** avec $f_{cj} = 25$ MPa: $f_{tj} = 0,6 + 0,06 \times 25 = 2,1$ MPa

Déformation du béton➤ **Déformation longitudinale** (A.2.1, 2)

On distingue:

- le module de déformation instantanée (durée d'application des charges < 24 heures)(symbole E_{ij}) :

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

- le module de déformation différée (longue durée d'application) (symbole E_{vj})

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

➤ **Déformation transversale** (A.2.1, 2)

Le coefficient de Poisson est pris égal à:

- $\nu = 0,20$ pour la justification aux E.L.S. (section non fissurée)
- $\nu = 0$ dans le cas des E.L.U (section fissurée).

L'acier

- Le caractère mécanique qui sert de base aux justifications est la limite d'élasticité garantie désignée par f_e . Elle 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 : $E_s = 200\,000$ MPa.

- Le diagramme conventionnel déformations-contraintes pour la traction et la compression a l'allure présentée dans la figure Fig. 1.9, sachant que les valeurs de limite élastique sont les mêmes en traction et en compression.

➤ **Cas de la traction**

- Droite **OA** (domaine élastique)
 - Proportionnalité déformations-contraintes
 - Coordonnées du point A $\begin{cases} \varepsilon_s = f_e / E_s \\ \sigma_s = f_e \end{cases}$
- Horizontale **AB** d'ordonnée $\sigma_s = f_e$ (domaine plastique)
 - La position du point **B** correspond à un allongement de **10 ‰**

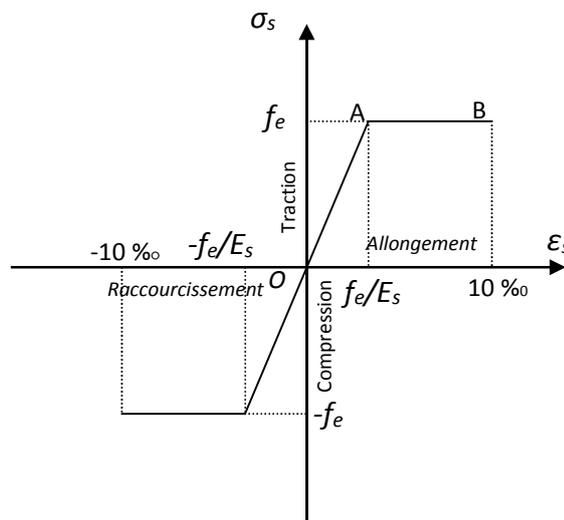


Fig. 1.9: Diagramme conventionnel déformations-contraintes de l'acier

➤ **Cas de la compression**

Le diagramme correspondant est symétrique à celui de la traction par rapport à O.

Les nuances d'acier :

- Il existe **4 nuances** principales qui correspondent à des qualités de limite élastique et de résistance différentes (voir tableaux 1.6 et 1.7).

a. Aciers en barres

Tableau 1.6 : Les caractéristiques des nuances principales des aciers en barres utilisés en béton armé

Caractéristiques	Types d'acier			
	Doux et lisses		A Haute Adhérence (symbole	
Dénomination	FeE215	Fe E 235	Fe E 400	Fe E 500
Limite élastique f_e en MPa	215	235	400	500
Resistance a la rupture σ_r en MPa	≥ 330	≥ 410	≥ 480	≥ 550
Allongement à la rupture	22%		14%	12%
Coefficient de scellement, symbole ψ_s	1		1,5	
Coefficient de fissuration, symbole η	1		1,6	
Diamètres courants en mm	6-8-10-12		6-8-10-12-14-16-20-25-32-40	

b. Treillis soudés

Tableau 1.7 : Les caractéristiques des treillis soudés utilisés en béton armé

Caractéristiques	Types de treillis	
	Lisses (symbole T.S.L.)	A Haute Adhérence (symbole T.S.H.A.)
Limite élastique f_e en MPa	500 (tous diamètres)	500 (tous diamètres)
Resistance à la rupture σ_r en MPa	550	550
Allongement a la rupture	8%	8%
Coefficient de scellement, symbole ψ_s	1	1,5
Coefficient de fissuration, symbole η	1	1,3 pour $0 < 6$ mm 1,6 pour $0 \geq 6$ mm
Diamètres courants	3,5 mm a 9 mm avec un pas de 0,5 mm	- 3,5 a 12 mm avec un pas de 0,5 mm

Chapitre 2

Prescriptions réglementaires

Chapitre 2

Prescriptions réglementaires

Introduction

Le matériau béton associé à l'acier induit un comportement plus complexe que ne peuvent le décrire les hypothèses très simplificatrices de la RDM.

C'est pourquoi, des règles de calcul précises destinées aux structures en béton armé ont été établies. Elles sont contenues dans le règlement **BAEL** (Béton Armé aux Etats Limites). La dernière version majeure date de 91 mais des modifications mineures ont été réalisées depuis. Dans ce cours on va se limiter à la version 91 révisées 99.

Actions et sollicitations

Les actions

Les actions sont les forces et couples dus aux charges appliquées (permanentes, climatiques, d'exploitation, etc.) et aux déformations imposées (variations de température, tassements d'appuis, etc.) (A.3.1).

Le règlement BAEL 91 distingue: les actions permanentes, les actions variables et les actions accidentelles.

- **Les actions permanentes**, notées **G**, sont celles dont l'intensité est constante ou très peu variable dans le temps. Les actions permanentes comprennent notamment le poids propre de la structure, celui des équipements fixes de toute nature (par exemple cloisons des bâtiments), les efforts (poids, poussées, pressions) dus à des terres ou liquides dont les niveaux varient peu, les efforts dus aux déformations imposées en permanence à la construction. La masse volumique du béton armé est prise égale à $2,5 \text{ t/m}^3$.
- **Les actions variables**, notées **Q**, dont l'intensité varie fréquemment et de façon importante dans le temps. Il s'agit des charges suivantes :

- Charges d'exploitation (ratio d'utilisateurs, de véhicules, etc.) classées par durée d'application (provisoire, longue durée)
 - Charges climatiques (neige et vent)
 - Effets thermiques
- **Les actions accidentelles**, notées F_A , provenant de phénomènes rares, tels que séismes ou chocs.

Les sollicitations

Les sollicitations sont les efforts (effort normal N , effort tranchant T) et les moments (moment de flexion M_f , moment de torsion M_t) calculés à partir des actions par des méthodes appropriées. Les sollicitations sont calculées après combinaisons des actions, en retenant le cas le plus défavorable.

Les combinaisons d'actions

Notations :

G_{max} : l'ensemble des actions permanentes défavorables ;

G_{min} : l'ensemble des actions permanentes favorables ;

G : l'ensemble des actions permanentes ;

Q_1 : une action variable dite de base :

- Q_B : la charge d'exploitation des bâtiments ;
- W : le vent
- S : la neige

Q_i : autres actions variables dites d'accompagnement avec $i > 2$;

ψ : coefficient affectant les actions variables d'accompagnement ;

Q_r : les charges d'exploitation des ponts-routes sans caractère particulier (systèmes A et B et charges sur trottoirs) ;

Q_{rp} : les charges d'exploitation des ponts-routes de caractère particulier (convois militaires ou exceptionnels) ;

T : les variations uniformes de la température ;

$\Delta\theta$: le gradient thermique (éventuel) ;

F_A : la valeur représentative d'une action accidentelle.

Les combinaisons d'actions à considérer pour les sollicitations de calcul sont les suivantes :

- Les combinaisons des états limites ultimes,
- Les combinaisons des états limites de service.

Pour la vérification des états limites ultimes de résistance (E.L.U.R.)

- *Cas des structures de bâtiment*

Actions permanentes $1,35 G_{max} + G_{min}$	Actions variables	
	de base $\gamma_{Q1} Q_1$	d'accompagnement $1,3 \psi_{02} Q_2$
1,35 G ou G	1,5 Q_B	0 ou W ou S_n ou W + S_n
	1,5 W	0 ou $1.3\psi_0 Q_B$ ou S_n ou $1.3\psi_0 Q_B + S_n$
	1,5 S_n	0 ou $1.3\psi_0 Q_B$ ou W ou $1.3\psi_0 Q_B + W$

Pour la vérification des états limites de service (E.L.S.)

- *Cas des structures de bâtiment*

Actions permanentes $G_{max} + G_{min}$	Actions variables	
	de base Q_1	d'accompagnement $1,3 \psi_{02} Q_2$
G	Q_B	0 ou 0.77 W ou 0.77 S_n
	W	0 ou $\psi_0 Q_B$
	S_n	0 ou $\psi_0 Q_B$

Remarques :

➤ Dans le cas le plus courant, l'unique combinaison d'actions à considérer pour **les fondations et les poteaux** est: **1,35. G + 1,5. Q.**

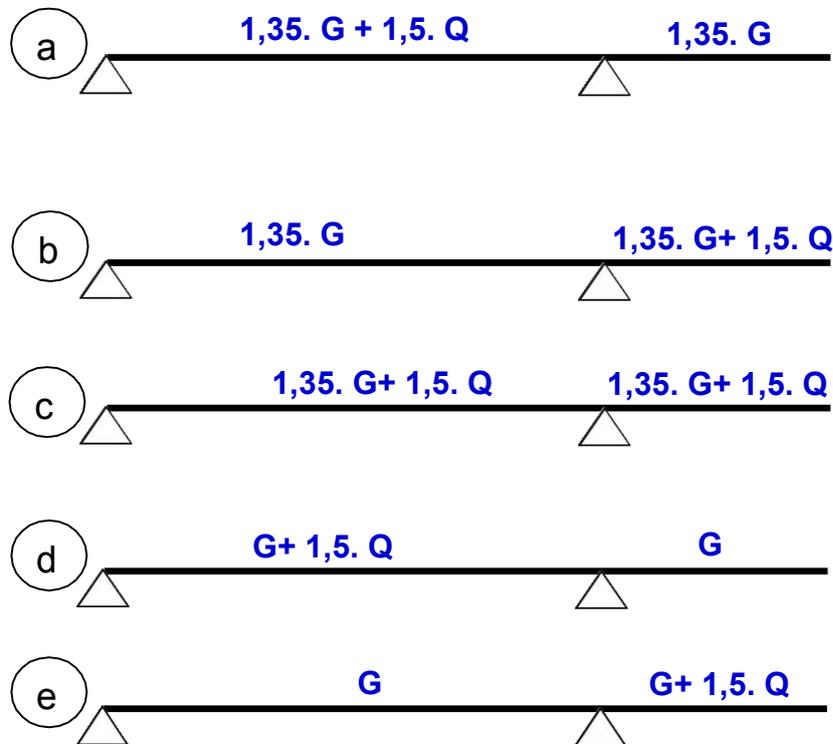
➤ *Pour le cas des planchers (**poutres ou dalles**) :*

a. Cas d'une seule travée sans porte-à-faut :

- La combinaison à considérer aux états limites E.L.U.R. est : **1,35 . G + 1,5 . Q.**
- La combinaison à considérer aux états limites E.L.S. est : **G + Q**

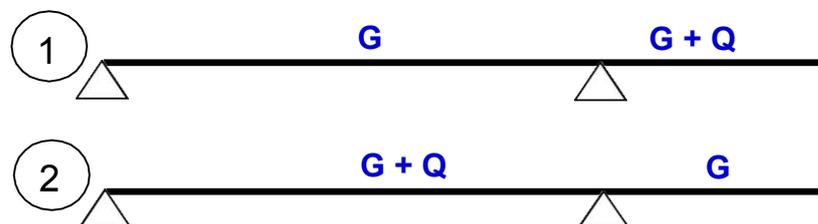
b. Cas d'une poutre reposant sur deux appuis, prolongée par un porte-à-faux

Aux états limites E.L.U.R.



- La combinaison d est prise en compte pour la justification de l'équilibre statique mais avec $0,9G$ au lieu de G dans la travée adjacente au porte-à-faux.

Aux états limites E.L.S.



Combinaisons accidentelles

Elles s'écrivent symboliquement : $G_{max} + G_{min} + F_A + \psi_{11}Q_1 + \sum \psi_{2i}Q_i$

avec :

- F_A : valeur nominale de l'action accidentelle (Séisme par exemple);

- $\psi_{11}Q_1$: valeur fréquente d'une action variable ;
- $\psi_{2i}Q_i$: valeur quasi permanente d'une autre action variable.
- Dans les structures de bâtiment, on se réfère au règlement RPA 99 Version 2003 (Règlement Parasismique Algérien).

Déformations et contraintes de calcul

Etat limite ultime de résistance

Hypothèses de calcul

- les sections droites restent planes et il n'y a pas de glissement relatif entre les armatures et le béton (les déformations sont les mêmes pour les deux matériaux béton et acier);
- la résistance à la traction du béton est négligée;
- les déformations des sections sont limitées pour l'allongement unitaire de l'acier à 10 ‰, pour le raccourcissement unitaire du béton à 3,5 ‰ en flexion et 2 ‰ en compression simple ;
- le diagramme déformations-contraintes du béton est défini au paragraphe 2.3.1.2.
- le diagramme déformations-contraintes de l'acier est défini au paragraphe 2.3.1.3.
- on peut supposer concentrée en son centre de gravité la section d'un groupe de plusieurs barres, tendues ou comprimées, pourvu que l'erreur ainsi commise sur la déformation unitaire ne dépasse pas 15 %.
- Le diagramme des déformations limites d'une section fait l'objet de la règle dite des «trois pivots» A, B, C (voir paragraphe 2.3.1.4).

Diagrammes déformations-contraintes du béton (B.A.E.L. A.4.3.41)

On distingue deux types de diagrammes (Fig. 2.1):

- Le diagramme «parabole-rectangle» (BAEL A.4.3,41);
- Le diagramme rectangulaire simplifié (Fig. 2.2). Ce diagramme peut remplacer le diagramme parabole-rectangle si la section considérée n'est pas entièrement comprimée (cas de la flexion simple) (BAEL A.4.3,42).

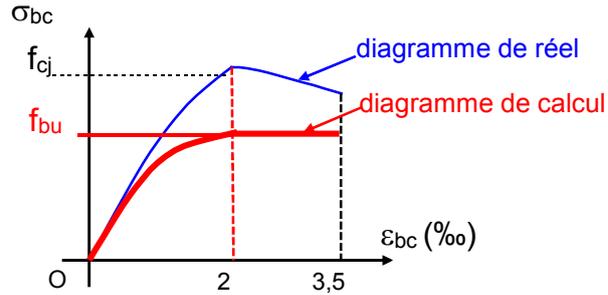


Fig. 2.1 : Diagramme Parabole-Rectangle

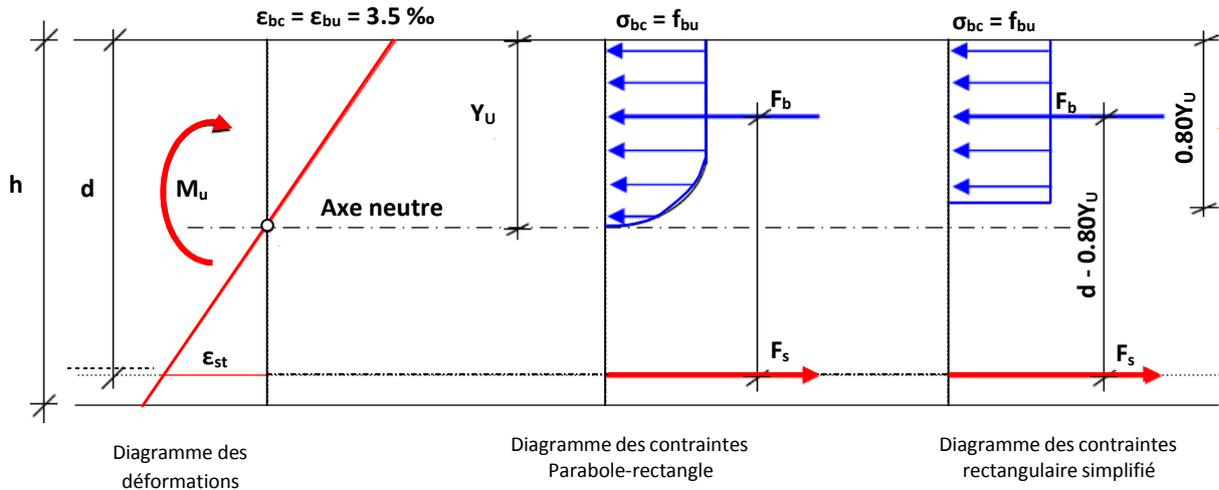


Fig. 2.2 : Diagrammes déformations-contraintes du béton

Notations:

- h** : la hauteur totale de la section ;
- d** : hauteur utile en flexion simple ;
- Yu** : position de la fibre neutre ;
- σ_{bc}** : contrainte de compression du béton ;
- f_{bu}** : résistance conventionnelle ultime à la compression ;
- ϵ_{bc}** : déformation du béton en compression.

- La valeur f_{bu} de la contrainte de calcul pour une déformation comprise entre 2 ‰ et 3,5 ‰ est :

$$f_{bu} = \frac{0.85 f_{cj}}{\theta \gamma_b}$$

- f_{cj} : résistance caractéristique du béton en compression à j jour
- γ_b : coefficient de sécurité

- $\gamma_b = 1,5$ dans le cas général
- $\gamma_b = 1,15$ pour les combinaisons accidentelles
- θ : dépend de la durée d'application des charges.
 - $\theta = 1$: lorsque la durée probable d'application des charges considérées est supérieure à 24 heures ;
 - $\theta = 0,9$: lorsque cette durée est comprise entre 1 heure et 24 heures ;
 - $\theta = 0,85$: lorsqu'elle est inférieure à 1 heure.

Diagramme déformations-contraintes de l'acier (B.A.E.L. 4.3,2)

Le diagramme de calcul se déduit de celui conventionnellement défini des déformations-contraintes conformément à la figure 2.3.

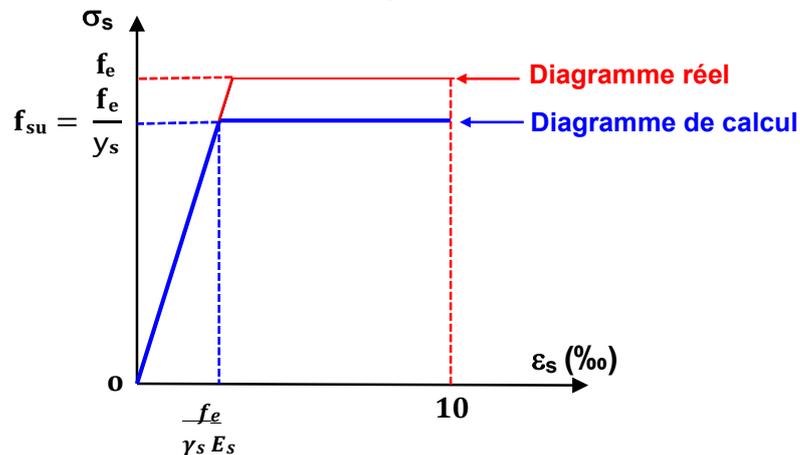


Fig. 2.3 : Déformations-contraintes de l'acier

- f_e : Limite d'élasticité garantie;
- γ_s : Coefficient de sécurité :
 - Cas courants: $\gamma_s = 1,15$
 - Combinaisons accidentelles : $\gamma_s = 1$
- Module d'élasticité longitudinale : $E_s = 200\ 000\text{MPa}$

- **Contrainte de calcul:**

$$f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s}$$

Diagramme des déformations limites d'une section (Règles des trois

pivots)

Le dimensionnement à l'état-limite ultime est conduit en supposant que le diagramme des déformations passe par l'un des trois pivots A, B ou C définis sur la Fig. 2.4.

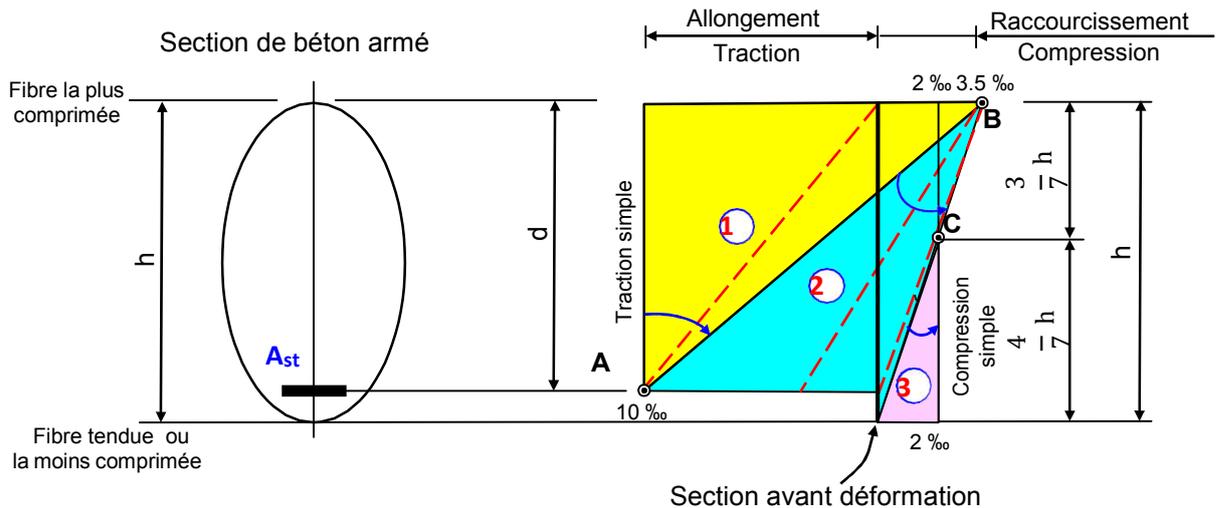


Fig. 2.4 : Diagramme des déformations limites de la section

L'analyse de ce diagramme est comme suit :

➤ **Pivot A** (Domaine 1):

- Allongement de l'acier le plus tendu : $\varepsilon_{st} = 10 \text{ ‰}$;
- Pièces soumises à la traction simple ou à la flexion simple ou composée.

➤ **Pivot B** (Domaine 2):

- Raccourcissement de la fibre de béton la plus comprimée : $\varepsilon_{bc} = 3,5 \text{ ‰}$;
- Pièces soumises à la flexion simple ou composée (béton partiellement comprimé).

➤ **Pivot C** (Domaine 3):

- Raccourcissement du béton comprimé $\varepsilon_{bc} = 2 \text{ ‰}$ pour $y_u = (3/7)h$;
- Pièces soumises à la compression simple (Si la droite de déformation est parallèle à la droite représentative de la section avant déformation) ou à la flexion composée.

Etat limite de service

Les vérifications à effectuer portent sur :

- un état limite de compression du béton (A.4.5,2) ;
- un état limite d'ouverture des fissures (A.4.5,3).

Hypothèses de calcul (BAEL A.4.5,1)

- Les sections droites restent planes après déformation ;
- Pas de glissement relatif entre armatures et béton $\epsilon_b = \epsilon_s$;
- La résistance à la traction du béton tendu n'est pas prise en compte dans les calculs;
- Le béton et l'acier ont un comportement élastique linéaire ;
- Par convention, le rapport **n** du module d'élasticité longitudinale de l'acier sur celui du béton ou « **coefficient d'équivalence** » a pour valeur **15** ($E_s/E_b = n = 15$).

Etat limite de compression du béton à l'ELS

- La contrainte de compression du béton, symbole σ_{bc} , est limitée à :

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{cj}$$

Etat limite d'ouverture des fissures

Les formes et dimensions de chaque élément, ainsi que les dispositions des armatures, sont conçues de manière à limiter la probabilité d'apparition de fissures d'une largeur supérieure à celle qui serait tolérable en raison du rôle et de la situation de l'ouvrage, car les fissures de largeur excessive peuvent compromettre l'aspect des parements, l'étanchéité des parois, la tenue des armatures vis-à-vis de la corrosion. Donc pour limiter la fissuration, la contrainte de traction des armatures est limitée à la valeur $\bar{\sigma}_{st}$ ($\sigma_{st} \leq \bar{\sigma}_{st}$)

Contraintes limites de traction des aciers ($\bar{\sigma}_{st}$)

➤ **Cas où la fissuration est considérée comme peu préjudiciable** (locaux couverts et clos non soumis aux condensations) :

$$\bar{\sigma}_{st} = f_e$$

➤ **Cas où la fissuration est considérée comme préjudiciable** (éléments exposés aux intempéries (pluie, neige, vent...) ou bien en contact avec l'eau) :

$$\bar{\sigma}_{st} = \min\left(\frac{2}{3} f_e, \max\left(\frac{1}{2} f_e, 110 \sqrt{\eta f_{tj}}\right)\right)$$

- f_e : limite élastique.
- η : coefficient de fissuration, avec :
 - $\eta = 1$ pour ronds lisse
 - $\eta = 1,6$ pour H.A (diamètres ≥ 6 mm)
 - $\eta = 1,3$ pour H.A (diamètres < 6 mm)
- f_{tj} : la contrainte du béton à la traction à j jours.

➤ **Cas où la fissuration est considérée comme très préjudiciable**

(l'élément est soumis à un milieu agressif) :

$$\bar{\sigma}_{st} = \min\left(0,8 \left(\frac{2}{3} f_e, \max\left(\frac{1}{2} f_e, 110 \sqrt{\eta f_{tj}}\right)\right)\right)$$

Condition de non - fragilité (A.4.2,1)

Par définition est considérée comme non fragile, une section tendue ou fléchietelle que la sollicitation provoquant la fissuration du béton dans le plan de la section considérée entraîne dans les aciers une contrainte au plus égale à leur limite d'élasticité garantie.

Une section minimum d'armatures longitudinales est imposée réglementairement. Cette section doit équilibrer la sollicitation de fissuration du béton non armé.

Pour des pièces soumises à la traction simple, la condition de non-fragilité s'exprime alors par la condition suivante :

$$A_{st} \geq B \frac{f_{t28}}{f_e}$$

Avec :

f_e : limite d'élasticité de l'acier ;

B : section totale du béton tendu;

f_{t28} : résistance caractéristique du béton à la traction.

Dans le cas des pièces de section rectangulaire soumises à la flexion simple:

$$A_{st} \geq 0.23bd \frac{f_{t28}}{f_e}$$

b et d : sont les dimensions de la section.