

1 Calcul du béton armé aux états limites

Les ouvrages en béton armé sont calculés en respectant les règlements, normes et Documents Techniques Unifiés (D.T.U.) en vigueur.

Le B.A.E.L. (Règlement Béton Armé aux États Limites) prescrit les règles techniques de:

- conception,
- calcul des différents ouvrages de la structure B.A.,
- justifications (vérifications diverses et dispositions constructives minimales).

Le présent chapitre a pour objet de familiariser le lecteur aux notions d'états limites, bases d'élaboration du règlement B.A.E.L. 91.

Principes généraux

1. Notions d'états limites (B.A.E.L. A1)

• Dans le domaine des constructions, un **état limite** est celui qui satisfait strictement aux conditions prévues sous l'effet des **actions** (forces, moments ou couples) qui agissent sur la construction ou l'un de ses éléments).

• **Quelles sont ces conditions ?**

Citons: **la stabilité, la résistance, la durabilité, les déformations non nuisibles** pour satisfaire les fonctions techniques d'utilisation des structures.

Exemple: résister aux sollicitations imposées, à l'effet des intempéries, des dilatations, des retraits, etc.

2. États limites ultimes et états limites de service

Il est nécessaire de bien différencier ces deux états qui sont à considérer dans tous les calculs B.A. soit directement, soit implicitement pour l'un des états.

États Limites Ultimes (E.L.U.)

On distingue :

- **État limite d'équilibre statique**
→ Stabilité des constructions
(non glissement, non renversement).
- **État limite ultime de résistance** (symbole E.L.U.R.)
→ Capacité portante qui dépend des matériaux constitutifs (non rupture par écrasement ou par allongement excessif).
- **État limite de stabilité de forme** (symbole E.L.U.S.F.)
→ Pas d'instabilité.

Exemple: pour un poteau B.A., non-risque de flambement.

NB. Ils concernent la capacité portante et la limitation des risques de ruine de tous ordres.

États Limites de Services (E.L.S.)

On distingue :

- **État limite de compression du béton**
→ Contrainte de compression bornée par le règlement B.A.E.L.
- **État limite de déformation**
→ Limitation des désordres.
Exemple: flèche des planchers limitée pour réduire les désordres de fissuration des cloisons ou des revêtements scellés.
- **État limite d'ouverture de fissures**
→ Durabilité des ouvrages.

Exemple: non-corrosion des aciers.

NB. Ils concernent les conditions d'utilisation des ouvrages et la durabilité.

3. Principes généraux des justifications

Ils s'appliquent essentiellement pour :

- la **sécurité des ouvrages**, par utilisation de coefficients de sécurité :
 - coefficient de majoration pour les valeurs nominales des actions (charges permanentes, charges d'exploitation, etc.) ;
 - coefficient de minoration pour les contraintes de calcul béton et acier ;
- les **combinaisons d'actions** dans un état limite donné :

à l'E.L.U.*	à l'E.L.S.*
$1,35 G + 1,50 Q_B$	$G + Q_B$
G : charges permanentes Q_B : charges d'exploitation * en général.	

Remarque: les combinaisons déterminent les sollicitations les plus défavorables, comme par exemple dans le cas des poutres avec porte-à-faux ou les cas de chargement des poutres continues.

Les calculs justificatifs concernent à la fois :

- les états limites ultimes E.L.U.,
- les états limites de service E.L.S.

Par exemple, pour la détermination des sections d'acier :

Calcul à l'E.L.U.R.

$$M_u \rightarrow A_{su}$$

Calcul à l'E.L.S.

$$M_{ser} \rightarrow A_{ser}$$



Si $A_{su} < A_{ser}$, on retient A_{ser}

Si $A_{su} > A_{ser}$, on retient A_{su}

Notations

- M_u moment de flexion à l'état limite ultime.
 M_{ser} moment de flexion à l'état limite de service.
 A_{su} section théorique d'armature à l'E.L.U.
 A_{ser} section théorique d'armature à l'E.L.S.

4. E.L.U. ou E.L.S. ?

EXERCICE

Indiquer, dans les différents cas ci-dessous, quel est l'état limite à considérer.

- Équilibre d'un mur de soutènement
Exemple: stabilité au renversement
- Cas de fissuration très préjudiciable
Exemple: limitation des contraintes de traction des aciers
- Cas de limitation de flèche
Exemple: $f < L/500$ si la longueur $L < 5,00$ m.
- Équilibre d'un poteau élancé (faible section, grande hauteur)
- Contrainte de compression du béton imposée

Réponse

- a : E.L.U. équilibre statique
 b : E.L.S.
 c : E.L.S.
 d : E.L.U.S.F.
 e : E.L.S.

2

Formulaire des poutres

But

Déterminer la valeur numérique des sollicitations telles que :

- actions aux appuis,
- effort tranchant, en particulier au voisinage des appuis,
- moment de flexion, en particulier $M_{f \max}$

Démarche proposée

- Définir les liaisons mécaniques de la poutre (types d'appuis).
- Déterminer le (ou les) cas de charge (charges uniformes, réparties, concentrées, etc.).
- Effectuer le schéma mécanique de la poutre chargée.
- Décoder et sélectionner dans le formulaire le (ou les) cas de chargement correspondant.
- Choisir et utiliser les formules adéquates en appliquant, s'il y a lieu, le principe de superposition des états d'équilibre.



NB. Le formulaire ci-après est limité à quelques cas courants pour familiariser le lecteur à son utilisation.

1. Notations et conventions du formulaire des poutres

Notations (figure 1)

- | | | |
|------------|--|-------------|
| A | Appui de gauche | } Travée AB |
| B | Appui de droite | |
| $x'x$ | Ligne moyenne continue représentative des centres de surface des sections le long de la poutre | |
| q | Intensité de la charge uniformément répartie par mètre de poutre | |
| P | Charge concentrée | |
| C, D | Points d'application de la charge P | |
| a | Distance de la charge concentrée à l'appui considéré | |
| R_A, R_B | Actions des appuis A et B sur la poutre AB | |
| V_A, V_B | Efforts tranchants aux appuis A et B | |
| x | Abscisse d'une section courante | |
| x_0 | Abscisse où s'exerce le moment maximal M_0 dans la travée AB | |
| M_x | Moment de flexion dans une section d'abscisse x | |
| M_0 | Moment maximal de flexion en travée | |

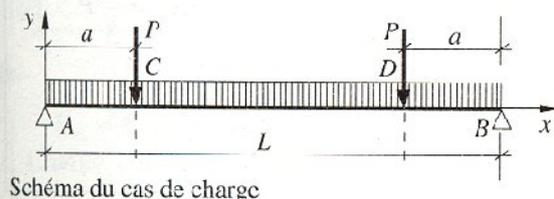
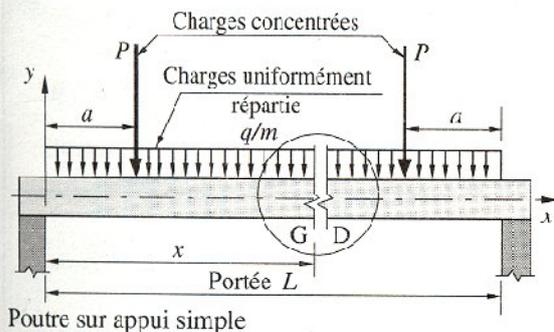


Fig. 1

Conventions (figure 2)

- (1) Charge répartie uniforme
- (2) Charge concentrée
- (3) Couple de flexion

Types d'appuis :

- (4) simples ou libres
- (5) articulations
- (6) encastrement à une seule extrémité
- (7) encastrement à chaque extrémité
- (8) Poutre continue (à plusieurs travées)

Représentation des moments de flexion :

diagramme disposé du côté de la fibre tendue de la poutre pour lever toute équivoque quant à la disposition des aciers de traction

Représentation des efforts tranchants :

$$V_A = R_A \text{ et } V_B = -R_B$$

dans le cas d'une poutre à une seule travée AB

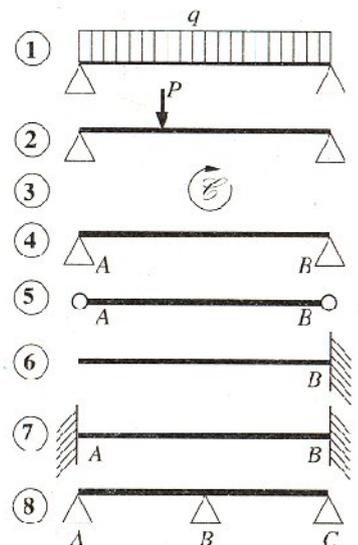
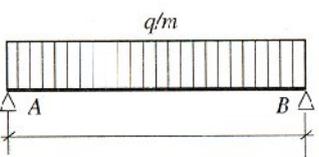
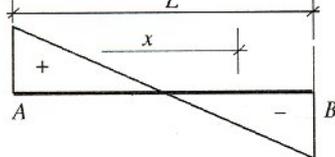
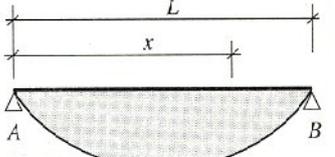
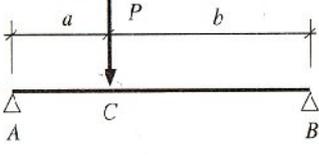
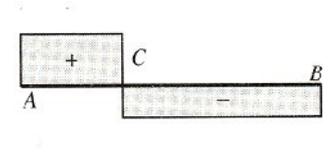
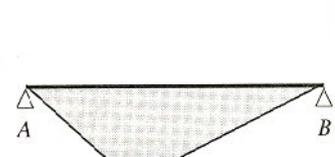
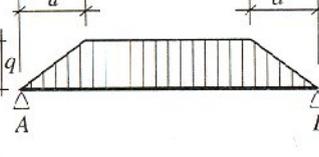
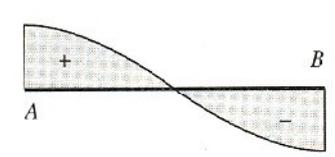
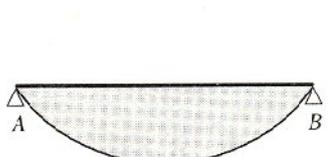
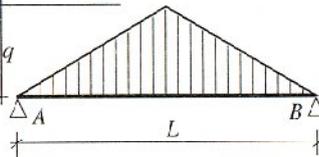
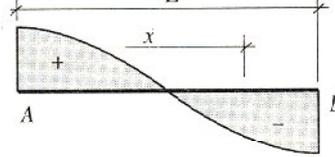
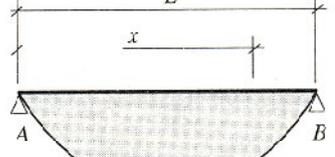
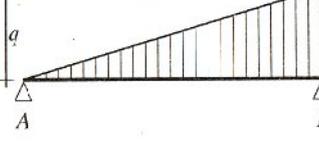
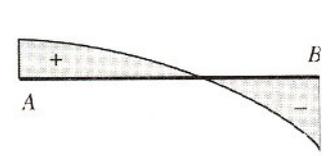
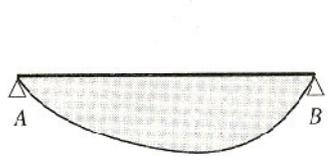
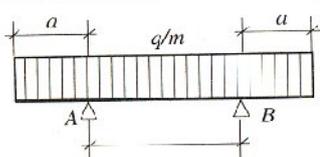
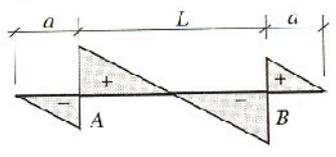
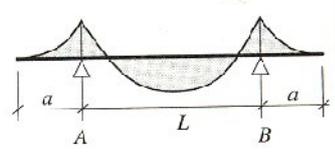
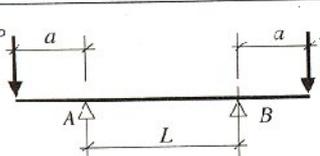
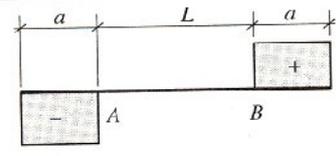
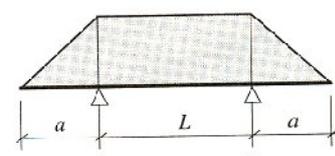
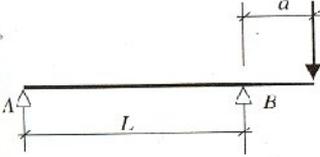
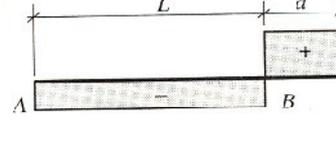
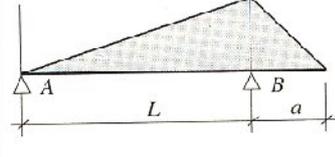


Fig. 2

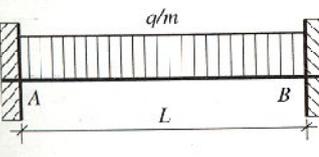
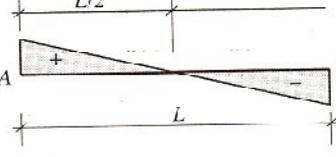
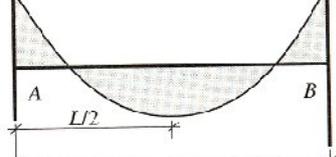
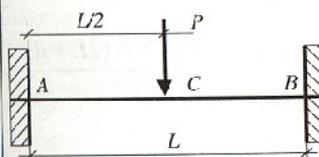
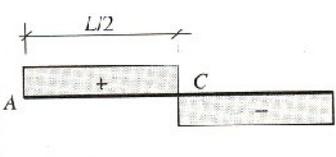
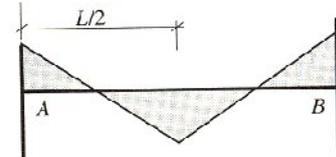
Schémas de représentation

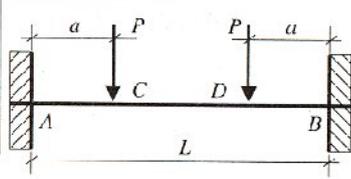
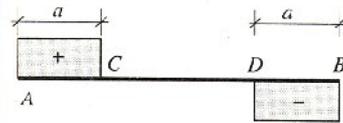
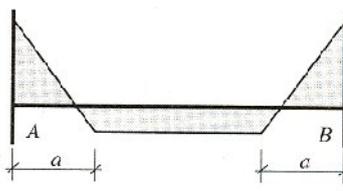
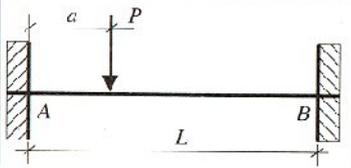
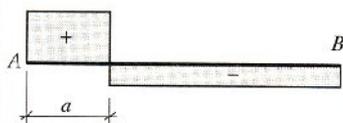
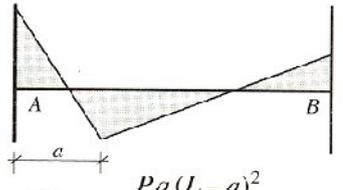
Poutres sur deux appuis simples

Cas de charge	Effort tranchant	Moment de flexion	Observations
<p>1</p>  <p>$R_A = \frac{qL}{2} \quad R_B = R_A$ Charge uniformément répartie</p>	 <p>$V_A = \frac{qL}{2} \quad V_B = -\frac{qL}{2}$ $V(x) = \frac{qL^2}{2} - qx$</p>	 <p>$M_0 = \frac{qL^2}{8}$ pour $x_0 = \frac{L}{2}$ $M(x) = \frac{qx}{2}(L-x)$</p>	<p>Flèche $f = \frac{5}{384} \cdot \frac{qL^4}{EI}$ pour $x = \frac{L}{2}$</p>
<p>2</p>  <p>$R_A = \frac{P \cdot b}{L} \quad R_B = \frac{P \cdot a}{L}$ Charge concentrée P</p>	 <p>$V_{AC} = R_A \quad V_{CB} = -R_B$ V_{AC} signifie V entre A et C V_{CB} signifie V entre C et B</p>	 <p>$M_0 = \frac{P \cdot a \cdot b}{L}$ pour $x_0 = a$</p>	<p>Si $a = b = \frac{L}{2}$ $R_A = \frac{P}{2}$ $M_0 = \frac{P \cdot L}{4}$ $f = \frac{PL^3}{48EI}$</p>
<p>3</p>  <p>$R_A = \frac{q}{2}(L-a) \quad R_B = R_A$ Charge en trapèze régulier</p>	 <p>avec $Q = q(L-a)$ $V_A = \frac{Q}{2} - R_A \quad V_B = -R_B$</p>	 <p>$M_0 = \frac{q}{2} \left[\frac{L^2}{4} - \frac{a^2}{3} \right]$ pour $x_0 = \frac{L}{2}$</p>	<p>Charge uniformément répartie p/m^2 sur un trapèze $S = \text{aire du trapèze}$ $Q_1 = p \cdot S$ $M_0' = \frac{Q_1}{2(L-a)} \left[\frac{L^2}{4} - \frac{a^2}{3} \right]$</p>
<p>4</p>  <p>$R_A = \frac{qL}{4} \quad R_B = R_A$ Charge répartie (triangle isocèle)</p>	 <p>$V_A = R_A \quad V_B = -R_B$ $V(x) = \frac{qL}{4} \left[1 - 4 \frac{x^2}{L^2} \right]$ pour $x \leq \frac{L}{2}$</p>	 <p>$M_0 = \frac{qL^2}{12}$ pour $x_0 = \frac{L}{2}$</p>	<p>Avec $P = \frac{qL}{2}$: $R_A = \frac{P}{2} = R_B$ $M_0 = \frac{PL}{6}$ $V = 0$ pour $x = \frac{L}{2}$</p>
<p>5</p>  <p>$R_A = \frac{qL}{6} \quad R_B = \frac{qL}{3}$ Charge à répartition variable</p>	 <p>$V_A = R_A \quad V_B = -R_B$ $V = 0$ pour $x = \frac{L}{\sqrt{3}}$</p>	 <p>$M(x) = \frac{qLx}{6} \left[1 - \left(\frac{x}{L} \right)^2 \right]$ $M_0 = \frac{qL^2}{9\sqrt{3}}$ pour $x_0 = \frac{L}{\sqrt{3}}$</p>	<p>Avec $P = \frac{q \cdot L}{2}$ $R_A = \frac{P}{3} \quad R_B = \frac{2}{3}P$ $M_0 = \frac{2PL}{9\sqrt{3}}$</p>

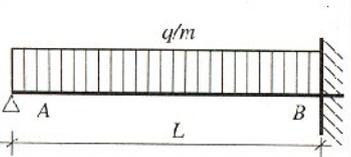
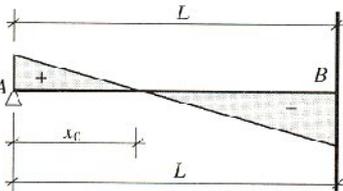
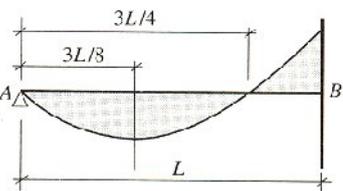
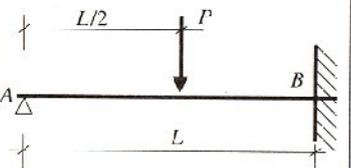
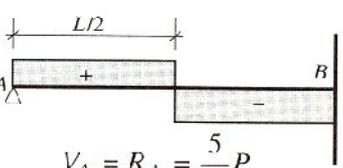
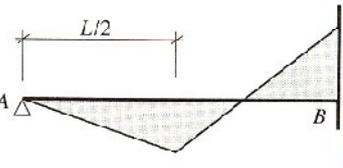
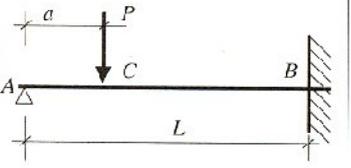
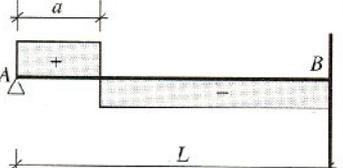
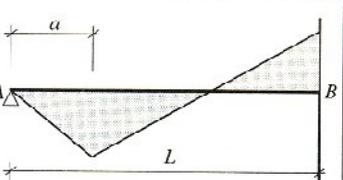
Cas de charge	Effort tranchant	Moment de flexion	Observations
 <p> $R_A = q \frac{(L+2a)}{2}$ $R_B = R_A$ Charges uniformément réparties </p>	 <p> $V_{gA} = -qa$ $V_{gB} = -\frac{qL}{2}$ $V_{dA} = \frac{qL}{2}$ $V_{dB} = qa$ </p>	 <p> $M_0 = \frac{q}{8} (L^2 - 4a^2)$ à mi-portée $M_A = M_B = -q \frac{a^2}{2}$ </p>	V_{gA} signifie : effort tranchant immédiatement à gauche de la section située en A V_{dA} : V à droite de A
 <p> $R_A = P$ $R_B = P$ Charges concentrées sur porte-à-faux </p>	 <p> $V_{gA} = -P$ $V_{dB} = P$ $V_{AB} = 0$ </p>	 <p> $M_0 = -P \cdot a$ </p>	Moment constant de A à B
 <p> $R_A = -\frac{P \cdot a}{L}$ $R_B = \frac{P(L+a)}{L}$ Charge concentrée sur 1 porte-à-faux </p>	 <p> $V_{AB} = R_A$ $V_{dB} = P$ </p>	 <p> $M_0 = M_B = -P \cdot a$ </p>	Sens des actions aux appuis : R_A : vers le bas R_B : vers le haut

Poutre encastree à chaque extrémite

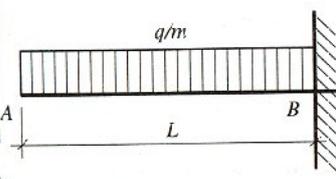
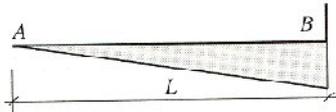
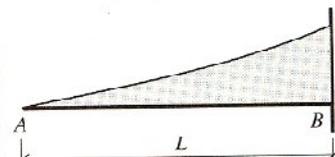
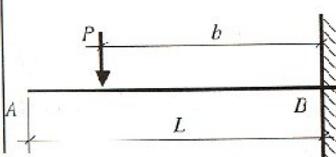
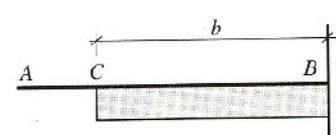
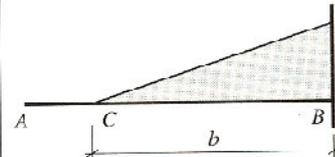
Cas de charge	Effort tranchant	Moment de flexion	Observations
 <p> $R_A = \frac{qL}{2}$ $R_B = \frac{qL}{2}$ Charge uniformément répartie </p>	 <p> $V_A = R_A$ $V_B = -R_B$ </p>	 <p> $M_A = -\frac{qL^2}{12}$ $M_B = -\frac{qL^2}{12}$ </p>	Pour $x_0 = L/2$: $V = 0$ $M_0 = \frac{qL^2}{24}$ Flèche = $\frac{qL^4}{384EI}$
 <p> $R_A = P/2$ $R_B = P/2$ Charge concentrée P en L/2 </p>	 <p> $V_A = P/2$ $V_B = -P/2$ </p>	 <p> $M_A = -\frac{PL}{8}$ $M_B = -\frac{PL}{8}$ </p>	Pour $x_0 = L/2$: $V = 0$ $M_0 = \frac{PL}{8}$

Cas de charge	Effort tranchant	Moment de flexion	Observations
<p>11</p>  <p>$R_A = P \quad R_B = P$ Deux charges concentrées P</p>	 <p>$V_A = R_A \quad V_B = -R_B$ $V_{CD} = 0$</p>	 <p>$M_A = -\frac{Pa(L-a)}{L} = M_B$</p>	<p>Entre C et D :</p> $M = \frac{Pa^2}{L}$
<p>12</p>  <p>Charge concentrée P</p>	 <p>$V_B = \frac{Pa^2(3L-2a)}{L^3}$ $V_A = \frac{P(L-a)^2(L+2a)}{L^3}$</p>	 <p>$M_A = -\frac{Pa(L-a)^2}{L^2}$ $M_B = -\frac{Pa^2(L-a)}{L^2}$</p>	<p>Pour $x_0 = a$:</p> $V = 0$ $M_0 = \frac{2Pa^2(L-a)^2}{L^3}$

Poutre encastree à une extrémité et sur appui libre à l'autre

Cas de charge	Effort tranchant	Moment de flexion	Observations
<p>13</p>  <p>$R_A = \frac{3}{8}qL \quad R_B = \frac{5}{8}qL$ Charge uniformément répartie</p>	 <p>$V(x) = R_A - qx$ $V_A = R_A \quad V_B = -R_B$</p>	 <p>$M_A = 0 \quad M_B = -\frac{qL^2}{8}$ $M_0 = \frac{9}{128}qL^2$ pour $x_0 = \frac{3L}{8}$</p>	<p>$V = 0$ pour $x_0 = \frac{3}{8}L$ $M = 0$ pour $x = \frac{3}{4}L$</p>
<p>14</p>  <p>Charge concentrée en $L/2$</p>	 <p>$V_A = R_A = \frac{5}{16}P$ $V_B = -R_B = \frac{11}{16}P$</p>	 <p>$M_A = 0 \quad M_B = -\frac{3}{16}PL$</p>	<p>Pour $x_0 = L/2$:</p> $M_0 = \frac{5}{32}PL$
<p>15</p>  <p>Charge concentrée P</p>	 <p>$V_B = -\frac{Pa(3L^2-a^2)}{2L^3} = -R_B$ $V_A = \frac{P(L-a)^2(2L+a)}{2L^3} = R_A$</p>	 <p>$M_A = 0 \quad M_B = -\frac{Pa(L^2-a^2)}{2L^2}$</p>	<p>Pour $x_0 = a$:</p> $M_0 = \frac{Pa(L-a)^2(2L+a)}{2L^3}$

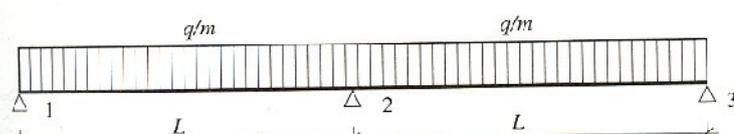
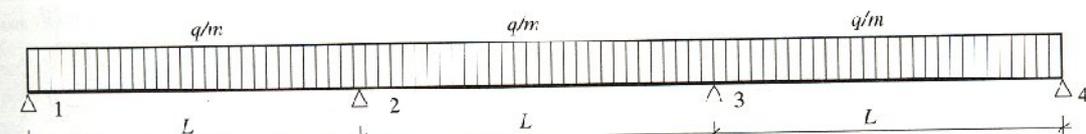
Poutres en console

Cas de charge	Effort tranchant	Moment de flexion	Observations
<p>16</p>  <p>$R_B = qL$ Charge uniformément répartie</p>	 <p>$V_B = -qL$ $V(x) = -qx$</p>	 <p>$M_B = -\frac{qL^2}{2}$ $M(x) = -q\frac{x^2}{2}$</p>	<p>Flèche en A :</p> $f = \frac{qL^4}{8EI}$
<p>17</p>  <p>$R_B = P$ Charge concentrée</p>	 <p>$V_A = 0$ $V_{CB} = -P$</p>	 <p>$M_B = -Pb$</p>	<p>Flèche en C :</p> $f = \frac{Pb^3}{3EI}$ <p>Flèche en A :</p> $f = \frac{Pb^2}{6EI}(3L-b)$

Poutres continues (cas simples)

Charge uniformément répartie

Moments en travée

<p>18</p>  <p>$M_1 = 0$ $M_2 = -0,125qL^2$ $M_3 = 0$ ← Moment sur appuis</p> <p>$R_1 = 0,375qL$ $R_2 = 1,250qL$ $R_3 = 0,375qL$ ← Actions des appuis</p> <p>Cas de deux travées</p>	<p>$M_{1-2} = 0,070qL^2$</p> <p>$M_{2-3} = 0,070qL^2$</p>
<p>19</p>  <p>$M_1 = 0$ $M_2 = -0,100qL^2$ $M_3 = -0,100qL^2$ $M_4 = 0$</p> <p>$R_1 = 0,400qL$ $R_2 = 1,100qL$ $R_3 = 1,100qL$ $R_4 = 0,400qL$</p> <p>Cas de trois travées</p>	<p>$M_{1-2} = 0,080qL^2$</p> <p>$M_{2-3} = 0,025qL^2$</p> <p>$M_{3-4} = 0,080qL^2$</p>

3. Mode d'utilisation du formulaire

D'APPLICATION DE DIFFICULTÉ PROGRESSIVE

1 Poutre sur deux appuis

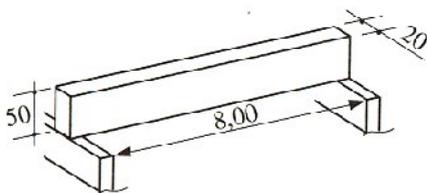


Fig. 3 Schéma perspectif de la poutre

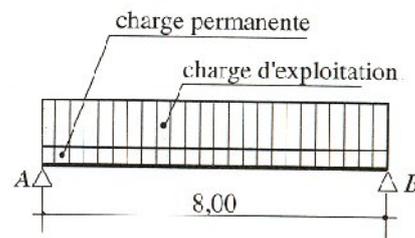


Fig. 4 Poutre sur deux appuis

Données

- Appuis simples aux extrémités
- Section de poutre : 20 cm × 50 cm
- Portée entre appuis : 8,00 m
- Charge d'exploitation uniformément répartie :
12 000 N/m ou
12 kN ou 0,012 MN

Hypothèses de fonctionnement à l'E.L.U.R.

Combinaison d'action

- G : charge permanente
- Q_B : charge d'exploitation
- $1,35 G + 1,5 Q_B$

Déterminer :

- les actions aux appuis R_A, R_B ;
- les efforts tranchants V_A, V_B et $V(x)$ pour déterminer les cadres et étriers;
- les moments de flexion M_0 et $M(x)$ pour déterminer les sections d'acier tendu.

Réponse : application directe du formulaire

- Charge permanente par mètre de poutre
 $0,20 \times 0,50 \times 25\,000 = 2\,500 \text{ N/m}$
- Combinaison de charge ($1,35 G + 1,5 Q_B$)
 $1,35 \times 2\,500 + 1,5 \times 12\,000 = 21\,375 \text{ N/m}$
- Utilisation du formulaire : cas n° 1

$$R_A = R_B = qL/2 = 85\,500 \text{ N}$$

$$V_A = 85\,500 \text{ N et } V_B = -85\,500 \text{ N}$$

$$V(x) = qL/2 - qx = 85\,500 - 21\,375 x$$

$$\text{pour } x = 1 \text{ m} \rightarrow V(1) = 64\,125 \text{ N}$$

$$\text{pour } x = 2 \text{ m} \rightarrow V(2) = 42\,750 \text{ N}$$

$$\text{pour } x = 4 \text{ m} \rightarrow V(4) = 0$$

$$M_0 = q \frac{L^2}{8} = 171\,000 \text{ Nm}$$

$$M(x) = \frac{21375}{2} \cdot x \cdot (8-x)$$

$$\text{pour } x = 1 \text{ m} \rightarrow M(1) = 74\,812 \text{ Nm}$$

$$\text{pour } x = 2 \text{ m} \rightarrow M(2) = 128\,250 \text{ Nm}$$

2 Poutre sur appuis libres

Données

- Section de poutre B.A. : 15 cm × 50 cm
- Portée entre appuis : 6,00 m
- Charge d'exploitation :
 - une charge répartie en triangle isocèle sur toute la longueur L de la poutre (valeur max $q_1 = 9\,000 \text{ N/m}$);
 - une charge concentrée $P = 20\,000 \text{ N}$ à mi-portée.

Déterminer les valeurs numériques de V_A et de M_0 pour un calcul de la section d'acier à l'E.L.U.R.

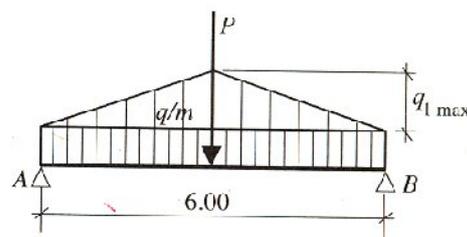


Fig. 5 Poutre sur appuis libres

Réponse : application du principe de superposition

Nature des charges	Formulaire
Charge permanente uniformément répartie $q_{u1} = 1,35 \times 1\,875 = 2\,531 \text{ N/m}$ • Effort tranchant à l'appui A $V_A = 2\,531 \times \frac{6,00}{2} = 7\,593 \text{ N}$ • Moment de flexion à mi-portée $M_0 = 2\,531 \times \frac{6,00^2}{8} = 11\,390 \text{ Nm}$	Cas n° 1 $V_B = q \frac{L}{2}$ $M_0 = q \frac{L^2}{8}$
Charges d'exploitation • Charge répartie en triangle isocèle $q_{u2} = 1,5 \times 9\,000 = 13\,500 \text{ N}$ $V_A = 13\,500 \times \frac{6,00}{4} = 20\,250 \text{ N}$ $M_0 = 13\,500 \times \frac{6,00^2}{12} = 40\,500 \text{ Nm}$ • Charge concentrée $P_u = 1,5 P = 30\,000 \text{ N}$ $V_A = \frac{P_u}{2} = 15\,000 \text{ N}$ $M_0 = \frac{P_u}{4} L = 45\,000 \text{ Nm}$	Cas n° 4 Cas n° 2

Charge permanente: poids propre par mètre de poutre

$$0,15 \times 0,50 \times 1,00 \times 25\,000 = 1\,875 \text{ Nm}$$

Application du principe de superposition

Sommation des résultats partiels ci-contre:

$$V_A = 7\,593 + 20\,250 + 15\,000 = 42\,843 \text{ N}$$

$$M_0 = 11\,390 + 40\,500 + 45\,000 = 96\,890 \text{ Nm}$$

(x_0 étant égal à $\frac{L}{2}$)



3. Poutre encastrée à ses deux extrémités

Calculer les moments d'encastrement sur appuis et le moment maximal en travée à l'E.L.U.R.

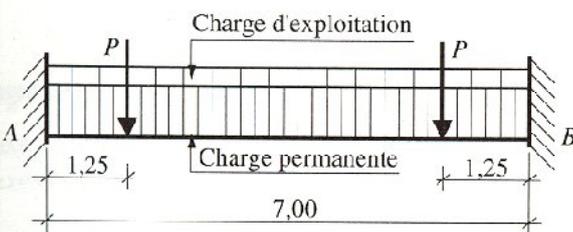


Fig. 6 Poutre encastrée à ses deux extrémités

Données

Section: 20 cm x 55 cm; portée: 7,00 m

La poutre supporte en charges d'exploitation:

- deux charges concentrées de même intensité, $P = 26\,000 \text{ N}$, situées chacune à 1,25 m de chaque extrémité;
- une charge d'exploitation uniformément répartie de 18 000 N/m.

Réponse

Combinaison d'action: 1,35 G + 1,5 Q_B

- Charges uniformément réparties p.m.

$$q_u = 1,35 \times 2\,750 + 1,5 \times 18\,000 = 30\,712 \text{ N/m}$$

Formulaire: cas n° 9 →

$$M_A = M_B = -125\,409 \text{ Nm}$$

$$M_0 = +62\,705 \text{ Nm}$$

- Charges concentrées d'exploitation

$$P_u = 1,5 \times 26\,000 = 39\,000 \text{ N}$$

Formulaire: cas n° 11 →

$$M_A = M_B = -40\,045 \text{ Nm}$$

$$M_0 = +8\,705 \text{ Nm}$$

- Effet total des charges réparties et concentrées

$$M_A = M_B = -165\,454 \text{ Nm}$$

$$M_0 = +71\,410 \text{ Nm pour } x_0 = \frac{L}{2}$$

3

Caractéristiques géométriques des sections

But

Déterminer, pour une section donnée d'un élément fléchi ou comprimé, les caractéristiques géométriques qui servent à étudier, par la suite, l'équilibre d'une section B.A. sous l'effet des sollicitations.

1 Moment statique (symbole M_s)

Il sert à trouver le centre de gravité (C.d.G.) d'une surface donnée (S), par rapport à un axe situé dans son plan.

Dans le cas du béton armé, l'équation dite du « Moment statique » permet de trouver la position de la fibre neutre d'une section (axe Gx , passant par le centre de gravité G).

La distance de la fibre neutre à la fibre la plus comprimée de la section permet de calculer le moment quadratique par rapport à l'axe Gx .

2 Moment quadratique (symbole $I_{\text{axe considéré}}$)

Il intervient dans le calcul des :

- contraintes de compression du béton et de traction des aciers dans une section de béton armé soumise à un moment de flexion ;
- contraintes de cisaillement dues à l'effort tranchant ;
- déformations (*exemples : flèche des éléments*).

1. Moment statique (rappels)

Théorème

Le moment statique d'une surface plane par rapport à un axe passant dans son plan est égal au produit de l'aire de cette surface par la distance de son centre de gravité (ou centre de surface) à l'axe considéré :

$$M_s / Ox = S \cdot y_G$$

$$M_s / Oy = S \cdot x_G$$

Propriétés

Si l'axe Ox passe par le centre de gravité $\rightarrow M_s / Ox = 0$

Si l'axe Oy passe par le centre de gravité $\rightarrow M_s / Oy = 0$

Principe de calcul pour une section homogène

Preons une section en T pour servir d'exemple :

Aire élémentaire	Distance du C.D.G. à l'axe Ox	Produit
A_1	y_1	$A_1 \cdot y_1$
A_2	y_2	$A_2 \cdot y_2$
A_3	y_3	$A_3 \cdot y_3$

$$M_s / Ox = \sum A_i \cdot y_i = S \cdot y_G$$

$$\text{On en déduit } y_G = \frac{M_s / Ox}{S}$$

Unités usuelles	
Aire totale S	cm^2
Ordonnée y	cm
Abscisse x	cm
Moment statique M_s	cm^3

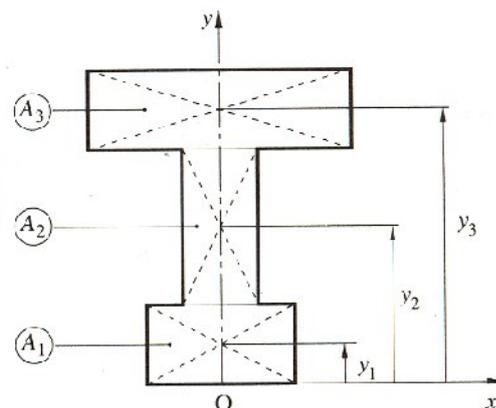


Fig. 1

2. Moment quadratique (rappels)

Définition

Le moment quadratique d'un élément de surface plane par rapport à un axe Ox , situé dans son plan, est égal au produit de l'aire ds de cet élément par le carré de sa distance à l'axe considéré Ox .

Le moment quadratique de la surface plane S contenant tous les éléments d'aire ds , par rapport à l'axe Ox , est égal à la somme des moments quadratiques élémentaires:

$$I_{Ox} = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y^2 ds$$

Méthode de calcul

Traitons un exemple simple, le cas de la section rectangulaire

- Calculons le moment quadratique par rapport à l'axe Ox
- Soit un élément de surface d'aire $ds = b \cdot dy$

Sa distance à l'axe Ox est y qui varie entre 0 et h .

$$I_{Ox} = \int_0^h y^2 ds = \int_0^h y^2 \cdot b \cdot dy$$

$$I_{Ox} = \frac{b \cdot h^3}{3}$$

(1)

Remarque: on obtient de même $I_{Oy} = \frac{h \cdot b^3}{3}$

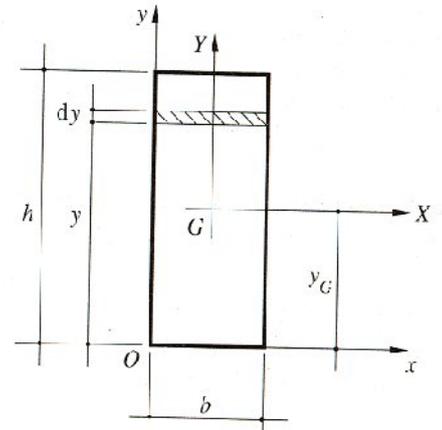


Fig. 2

Théorème de Huyghens

Le moment quadratique d'une surface plane S , par rapport à un axe Ox de son plan, est égal à la somme:

- du moment quadratique I_{GX} de cette surface par rapport à l'axe GX , parallèle à Ox et passant par le C.d.G. (fig. 2);
- du produit de l'aire de la surface S par le carré de la distance y_G du centre de gravité à l'axe Ox .

$$I_{Ox} = I_{GX} + S \cdot y_G^2$$

(2)

Application à la section rectangulaire pour déterminer I_{GX}

$$I_{GX} = I_{Ox} - S \cdot y_G^2$$

$$I_{GX} = \frac{bh^3}{3} - b \cdot h \left(\frac{h}{2}\right)^2 \quad \text{d'où} \quad I_{GX} = \frac{bh^3}{12}$$

(3)

3. Tableau des caractéristiques des sections courantes

Forme de la section	Aire	Centre de gravité	Moment quadratique
	<p>Rectangle</p> $A = b \times h$	<p>Position de G</p> $v_1 = \frac{h}{2} = v_2$	<p>Par rapport au C.d.G. :</p> $I_{X'X} = \frac{bh^3}{12}$ <p>Par rapport à la base :</p> $I_{X'X} = \frac{bh^3}{3}$
	<p>Triangle</p> $A = \frac{b \times h}{2}$	$v_2 = \frac{2}{3}h$ $v_1 = \frac{h}{3}$	$I_{X'X} = \frac{bh^3}{36}$ $I_{X'X} = \frac{bh^3}{12}$
	<p>Disque</p> $A = \frac{\pi D^2}{4}$	$v_1 = \frac{D}{2} = r$	$I_{X'X} = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi r^4}{4}$

Remarque: le rayon de giration est tel que: $r_{x'x}^2 = \frac{I_{x'x} \text{ (moment quadratique)}}{A \text{ (aire de la section)}}$ soit $r_{x'x} = \sqrt{\frac{I_{x'x}}{A}}$

D'APPLICATIONS NUMÉRIQUES

- Calculer en utilisant le tableau ci-dessus: S, v_1, I_{GX}, I_{Ox} .
- Masquer les résultats indiqués.
- Contrôler les résultats obtenus.

EXERCICE

EXERCICE

Section	Résultats	Section	Résultats
	$A = 640 \text{ cm}^2$ $v_1 = 20 \text{ cm}$ $I_{GX} = 85\,333 \text{ cm}^4$ $I_{Ox} = 341\,333 \text{ cm}^4$		$A = 640 \text{ cm}^2$ $v_1 = 8 \text{ cm}$ $I_{GX} = 13\,653 \text{ cm}^4$ $I_{Ox} = 54\,613 \text{ cm}^4$
	$A = 640 \text{ cm}^2$ $v_1 = 13,33 \text{ cm}$ $I_{GX} = 56\,889 \text{ cm}^4$ $I_{Ox} = 170\,667 \text{ cm}^4$		$A = 640 \text{ cm}^2$ $v_1 = 14,28 \text{ cm}$ $I_{GX} = 32\,659 \text{ cm}^4$

4. Section en forme de T

Établissons les formules pour calculer y_G et I_{GX} dans une section homogène en T dans le cas où $y_G > h_0$.

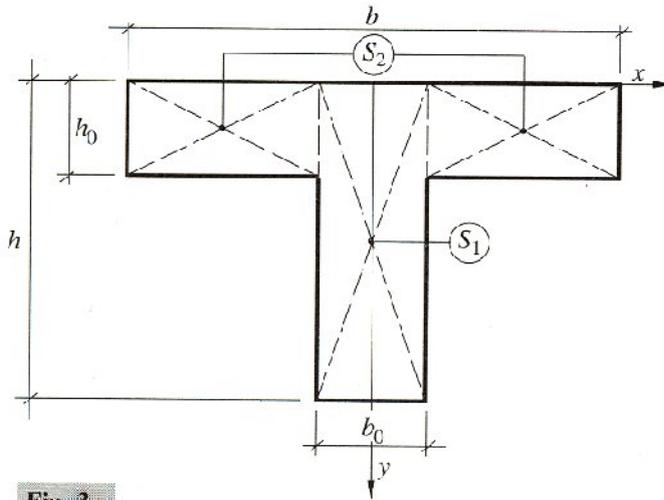


Fig. 3
Calcul de y_G

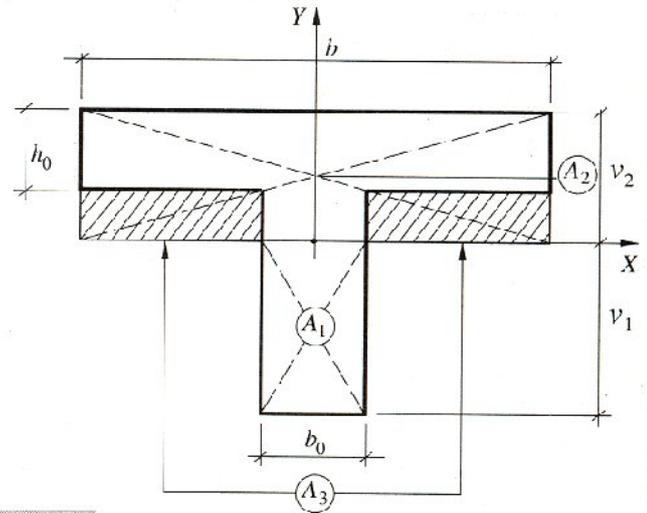


Fig. 4
Calcul de I_{GX}

Calcul de y_G (ou v_2)			Calcul de I_{GX} en fonction de v_1 et de v_2	
Aires	Distance du C.d.G. à l'axe Ox	Produit	Aires	$I_{GX} = I_1 + I_2 + I_3$
$S_1 = b_0 \cdot h$	$\frac{h}{2}$	$\frac{b_0 h^2}{2}$	$A_1 = b_0 \cdot v_1$	$I_1 = \frac{b_0 \cdot v_1^3}{3}$
$S_2 = (b - b_0) h_0$	$\frac{h_0}{2}$	$\frac{(b - b_0) h_0^2}{2}$	$A_2 = b \cdot v_2$	$I_2 = \frac{b \cdot v_2^3}{3}$
$S = S_1 + S_2$	$M_s / Ox = \frac{b_0 h^2 + (b - b_0) h_0^2}{2}$		$A_3 = (b - b_0) (v_2 - h_0)$	$I_3 = (b - b_0) \frac{(v_2 - h_0)^3}{3}$
$y_G = \frac{b_0 h^2 + (b - b_0) h_0^2}{2S} = v_2$			$I_{GX} = \frac{b_0 \cdot v_1^3}{3} + \frac{b \cdot v_2^3}{3} - (b - b_0) \frac{(v_2 - h_0)^3}{3}$	
NB. Choix de l'axe Ox passant par l'arrête supérieure de la section.			NB. Choix de l'axe GX passant par le C.d.G. Les rectangles hachurés d'aire totale A_3 sont à déduire dans les calculs.	

Exemple numérique avec :

$$b_0 = 20 \text{ cm}; \quad b = 80 \text{ cm}; \quad h_0 = 18 \text{ cm}; \quad h = 78 \text{ cm}.$$

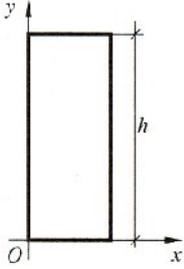
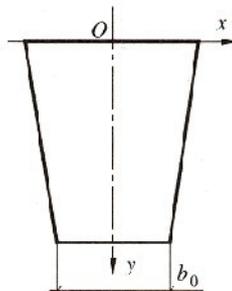
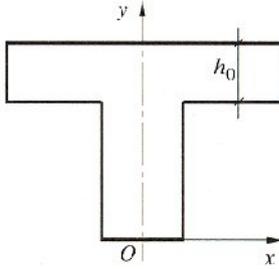
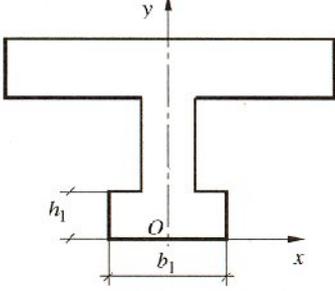
L'application des formules ci-dessus donne :

$$y_G = 26,73 \text{ cm} \quad \text{et} \quad I_{GX} = 1\,394\,443 \text{ cm}^4.$$

D'ASSIMILATION

EXERCICES

- Choix préalable d'un référentiel Ox, Oy .
- Choix de surfaces élémentaires.
- Détermination de y_G avec le moment statique.
- Utilisation du théorème de Huyghens pour I_{GX} ou I_{Ox} .

Rectangle	Trapèze	Té	Section en «I»
 <p>$b = 15 \text{ cm}$ $h = 45 \text{ cm}$</p>	 <p>$b = 30 \text{ cm}$ $b_0 = 20 \text{ cm}$ $h = 45 \text{ cm}$</p>	 <p>$b = 50 \text{ cm}$ $b_0 = 20 \text{ cm}$ $h = 45 \text{ cm}$ $h_0 = 12 \text{ cm}$</p>	 <p>$b = 65 \text{ cm}$ $b_0 = 15 \text{ cm}$ $b_1 = 22 \text{ cm}$ $h = 45 \text{ cm}$ $h_0 = 10 \text{ cm}$ $h_1 = 15 \text{ cm}$</p>
Réponses			
$I_{Ox} = 455\,625 \text{ cm}^4$ $I_{GX} = 113\,906 \text{ cm}^4$	$v_1 = 21 \text{ cm}$ $I_{Ox} = 683\,438 \text{ cm}^4$ $I_{GX} = 187\,313 \text{ cm}^4$	$v_1 = 27,214 \text{ cm}$ $I_{Ox} = 1\,159\,380 \text{ cm}^4$ $I_{GX} = 226\,202 \text{ cm}^4$	$v_1 = 28,105 \text{ cm}$ $I_{Ox} = 1\,267\,667 \text{ cm}^4$ $I_{GX} = 256\,606 \text{ cm}^4$

5. Application aux sections courantes de béton armé

Principes de calcul (préliminaires indispensables)

- 1° Le béton tendu est négligé dans les calculs du C.d.G. et de I_G (sauf cas particuliers).
- 2° Le moment quadratique des aciers I_A par rapport à l'axe passant par leur propre centre de gravité est également négligé.
- 3° La section d'acier est prise équivalente à une section fictive de béton :

coefficient d'équivalence n pris égal à 15.

Exemple

Section d'acier constituée par :

$$4 \text{ H A } 14 + 4 \text{ H A } 16 \rightarrow \text{Section totale } A_s = 14,20 \text{ cm}^2$$

Section fictive équivalente en béton : $A_s \times 15$

$$\text{Soit : } 14,20 \text{ cm}^2 \times 15 = 213 \text{ cm}^2$$

- 4° La hauteur utile de la section (symbole d) est égale à la distance de la fibre la plus comprimée du béton au C.d.G. des aciers tendus.

Remarques

1. La hauteur utile de la section, symbole d , est prise égale à la distance entre le C.d.G. des aciers tendus et la fibre la plus comprimée de la section.

2. Rappel : le moment statique par rapport à un axe passant par le C.d.G. de la section est nul

$$\sum M_s / GX = 0$$

(équation du second degré en Y dite du « Moment statique »).

Cas d'une section rectangulaire (fig. 5)

On veut calculer $y_G = Y$ et I_{GX} .

Position de l'axe passant par le C.d.G.		
Aire élémentaire	Distance algébrique du C.d.G. à l'axe GX	Moment statique
$S_1 = b \cdot Y$	$\frac{Y}{2}$	$\frac{b \cdot Y^2}{2}$
$S_2 = n \cdot A_s$	$-(d - Y)$	$-n \cdot A_s (d - Y)$
$\sum M_s / GX = 0 \rightarrow \frac{b \cdot Y^2}{2} - n \cdot A_s (d - Y) = 0$		

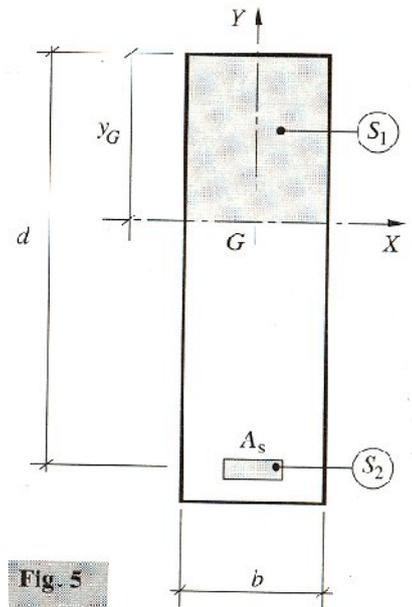


Fig. 5

Section B.A. rectangulaire

Calcul de I_{GX} , par application du théorème de Huyghens et en tenant compte des principes de calcul pour les sections B. A.:

$$I_{GX} = \frac{b \cdot Y^3}{3} - n \cdot A_s (d - Y)^2$$

Exemple numérique avec:

$$b = 18 \text{ cm}; \quad d = 45 \text{ cm}; \quad A_s = 8,04 \text{ cm}^2$$

Par utilisation des deux formules précédentes, on trouve:

$$Y = y_G = 18,75 \text{ cm}; \quad I_{GX} = 122\,652 \text{ cm}^4$$

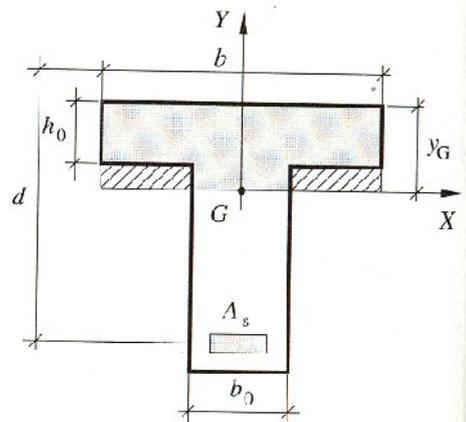


Fig. 6

Section B.A. en T

Cas d'une section en forme de T (fig. 6)

Étudions le cas où $Y = y_G > h_0$

Remarque: Si $y_G < h_0$, il s'agit d'une section rectangulaire en raison de la zone de béton tendu, non prise en compte dans les calculs.

Équation du moment statique			Moment quadratique I_{GX}	
Aire	Distance	Moment statique	Aire	Expression de I_{GX}
$b \cdot Y$	$\frac{Y}{2}$	$\frac{b \cdot Y^2}{2}$	$b \cdot Y_1$	$\frac{b \cdot Y^3}{3}$
$(b - b_0) (Y - h_0)$	$\frac{(Y - h_0)}{3}$	$(b - b_0) \frac{(Y - h_0)^2}{2}$	$(b - b_0) (Y - h_0)$	$(b - b_0) \frac{(Y - h_0)^3}{3}$
$n \cdot A_s$	$-(d - Y)$	$-n \cdot A_s (d - Y)$	$n \cdot A_s$	$n \cdot A_s (d - Y)^2$
$\sum M_s / GX = 0 \rightarrow$			Total des valeurs algébriques:	
$\frac{b \cdot Y^2}{2} - (b - b_0) \frac{(Y - h_0)^2}{2} - n \cdot A_s (d - Y) = 0$			$I_{GX} = \frac{bY^3}{3} - (b - b_0) \frac{(Y - h_0)^3}{3} + n \cdot A_s (d - Y)^2$	

Exemple numérique : section en T, en matériau homogène

$$b = 80 \text{ cm}; \quad b_0 = 20 \text{ cm}; \quad h_0 = 12 \text{ cm}; \quad d = 72 \text{ cm}$$

L'application des formules précédentes (p. 18) donne :

$$y_G = 17,708 \text{ cm}; \quad I_{GX} = 772\,197 \text{ cm}^4$$

D'ASSIMILATION

EXERCICE

Sections rectangulaires		Section en T	
Données	Réponse	Données	Réponse
$b = 20 \text{ cm}$ $d = 60 \text{ cm}$ $A_s = 4 \text{ HA } 20$	$y_G = 25,5 \text{ cm}$ $I_{GX} = 334\,964 \text{ cm}^4$	$b = 80 \text{ cm}$ $b_0 = 20 \text{ cm}$ $h_0 = 12 \text{ cm}$ $d = 60 \text{ cm}$	$y_G = 26,25 \text{ cm}$ $I_{GX} = 1\,202\,897 \text{ cm}^4$
$b = 15 \text{ cm}$ $d = 55 \text{ cm}$ $A_s = 3 \text{ HA } 16$	$y_C = 20,42 \text{ cm}$ $I_{GX} = 150\,731 \text{ cm}^4$	$A_s = 1 \text{ HA } 20$ $+ 8 \text{ HA } 25$ totalisant $42,41 \text{ cm}^2$	

4

Actions permanentes et variables

But

Il s'agit de déterminer la nature et l'intensité des différentes charges ou actions qui agissent sur une structure et en particulier sur l'un de ses éléments (exemples: poteau, poutre, plancher, fondation, etc.).

Démarche proposée

- Analyser les actions permanentes et variables pour les combinaisons de charges à l'E.L.U. ou à l'E.L.S.
- Utiliser les extraits de normes et fiches techniques des fabricants qui indiquent:
 - les poids volumiques ou surfaciques,
 - les charges d'exploitation.
- Évaluer les charges sur les éléments porteurs compte tenu du cahier des prescriptions techniques du maître d'œuvre.

1. Nature des actions (B.A.E.L. A3)

Actions permanentes

(symbole général G)

Symboles et désignation

- G_1 : Poids propre des structures, maçonneries ou béton armé
Exemple: fondations, murs.
- G_2 : Poids des autres éléments de la construction
Exemple: couverture, charpente, carrelages.
- G_3 : Forces exercées par la poussée des terres ou la pression des liquides
Exemple: cas des murs de sous-sol.
- G_4 : Déformation différées dans le temps
Exemple: celles causées par le retrait du béton.

Actions variables

(symbole général Q)

Symboles et désignation

- Q_1 : Charges d'exploitation
Exemple: charges uniformément réparties sur les planchers (symbole Q_B)
- Q_2 : Charges climatiques
- action du vent (symbole W)
 - action de la neige (symbole S_n)
- Q_3 : Action de la température, (symbole T)
Coefficient de dilatation du béton armé: 10^{-5}
- Q_4 : Actions passagères en cours d'exécution
Exemple: dépôts de palettes de matériaux.

EXERCICE D'ASSIMILATION 1

Désigner par le symbole correspondant, la charge permanente ou variable, dans la liste ci-contre :

Liste des actions

• Plancher B.A.	→	type d'action	G_1
• Voile B.A.	→	?	G_1
• Coffre-fort sur plancher	→	?	Q_1
• Cloisons sur plancher	→	?	G_2
• Poutre B.A.	→	?	G_1
• Charpente bois ou métal	→	?	G_2
• Chauffe-eau 200 dm ³	→	?	Q_1
• Neige sur versant ou terrasse	→	?	S_n
• Personnes sur planchers	→	?	Q_1
• Voitures (actions des roues)	→	?	Q_1

Masquer les réponses ci-dessous et contrôler les vôtres. ↓

2. Évaluation des charges permanentes (Extraits NF P 06-004)

2.1 Matériaux de construction

Béton armé	25 000 N/m ³	
Acier	78 500 N/m ³	
Maçonneries de moellons	23 000 N/m ³	
Calcaire compact	28 000 N/m ³	
Bois {	conifères	6 000 N/m ³
	feuillus	8 000 N/m ³
	tropicaux durs	10 000 N/m ³
Autres éléments (poids par m ² et par cm d'épaisseur)		
Carreaux de plâtre	: 100 N/m ² /cm	
Enduit de plâtre	: d°	
Enduit de mortier hydraulique	: 180 N/m ² /cm	
Complexes isolants	: voir fiches des fabricants	

2.2 Éléments constitutifs des maçonneries

Désignation	Ep ^r (cm)	Poids (N/m ²)	
Briques pleines	5,5	1 050	
	10,5	2 000	
Briques creuses	15	1 300	
	20	1 750	
	25	2 050	
Blocs pleins en béton de gravillons lourds	15	3 150	
	20	4 200	
Blocs creux en béton de gravillons lourds	15	2 000	
	20	2 700	
Blocs pleins de béton cellulaire	15	1 200	
	20	1 600	
	25	2 050	
Pierre de taille:			
	- parois pleines	20	5 300
	- auto-portant	8	2 200
- attaché	3	800	

2.3 Poids des éléments constitutifs des planchers

- **Dalles pleines : 250 N/m²/cm d'épaisseur**
Exemple : dalle B.A. de 18 cm d'ép^r → 4 500 N/m²
- **Planchers à poutrelles préfabriquées et entrevous**
(voir fiches des fabricants : exemple P.P.B.)

A titre indicatif, le poids, en N/m², dépend des épaisseurs et des entrevous utilisés :

Poids en N/m ² des planchers courants avec : poutrelles + entrevous + table de compression (ép ^r : 4 à 5 cm)			
Type (ép ^r en cm)	Entrevous		
	Béton	Polystyrène	Terre cuite
12 + 4	2 500	1 700	2 300
16 + 4	2 850	2 000	2 600
20 + 4	3 300	2 100	3 000

2.4 Revêtements des planchers

- **Chape en mortier**
ou dalle flottante : 200 N/m²/cm d'ép^r
Exemple : chape de 4 cm d'ép^r → 800 N/m²
- **Carrelages scellés y compris mortier de pose** :
- grès cérame ép^r 9 mm : 900 N/m²
- marbre ép^r 12 mm à 15 mm : 1 000 N/m²
- **Parquets de 23 mm**
y compris lambourdes : 250 N/m²
- **Sols minces textiles (moquettes)** : 80 N/m²

2.5 Toitures

- **Terrasses**
 - Étanchéité multicouche : 120 N/m²
 - Asphalte coulé sablé : 500 N/m²
 - Gravillons pour protection d'étanchéité : 200 N/m²
- **Autres toitures**
 - Support de couverture
 - liteaux sapin : 30 N/m²
 - voligeage sapin : 100 N/m²
 - chevrons sapin (60 X 80) : 70 N/m²
 - Couvertures en ardoises (lattis et voligeage compris) : 300 N/m²
 - Couvertures en tuiles (liteaux compris) : 500 à 750 N/m²

2.6 Cloisons de distribution

Cloisons légères, non porteuses, de masse < 2 500 N/m

Elles sont prises en compte comme une charge permanente uniformément répartie.

On admet : 500 N/m².

EXERCICE D'ASSIMILATION 2

Évaluer les charges permanentes par m² de plancher suivant les données ci-contre :

Locaux d'habitation

- Dalle pleine en B.A. épaisseur 16 cm → 4 000 N/m²
 - Dalle flottante d'épaisseur 5 cm → 1 000 N/m²
 - Revêtement moquette → 80 N/m²
 - Cloison de distribution, type Placopan → 500 N/m²
- 5 580 N/m²

3. Évaluation des charges d'exploitation (Extraits NF P 06-001)

Nature et destination du local	Charges d'exploitation en N/m ²	Nature et destination du local	Charges d'exploitation en N/m ²
Bâtiments à usage d'habitation		Bâtiments scolaires et universitaires	
Logement y compris combles aménageables	1 500	Salles de classe, dortoirs, sanitaires collectifs	2 500
Balcons	3 500	Ateliers, laboratoires (matériel lourd exclu)	2 500
Escaliers (marches isolées exclues)	2 500	Circulation, escaliers	4 000
Greniers proprement dits	2 500	Bibliothèques, salles de réunion	4 000
Bâtiments de bureaux		Cuisines collectives	5 000
Bureaux proprement dits	2 500	Bâtiments hospitaliers et dispensaires	
Circulations et escaliers	2 500	Chambres	1 500
Halls de réception	2 500	Circulation interne	2 500
Halls à guichet	4 000	Locaux médicotechniques (salles de travail et d'opérations)	3 500

Cas des terrasses (voir D.T.U. n° 43)

Terrasses non accessibles	1 000 N/m ²
Terrasses accessibles privées	1 500 N/m ²
Terrasses accessibles au public	5 000 N/m ²

Cas des marches préfabriquées indépendantes en porte-à-faux

Chacune doit résister à :

- une charge concentrée de 5 000 N, à l'extrémité de la marche, si la portée est inférieure à 1,10 m et l'escalier non accessible au public ;
- une charge $Q = 10\,000$ N, répartie, si la portée est $> 1,10$ m et l'escalier non accessible au public ;
- une charge $Q = 15\,000$ N, répartie, si la portée est $> 1,10$ m et l'escalier accessible au public.

EXERCICE D'ASSIMILATION 3

Données

- Bâtiment à usage d'habitation avec ascenseur et escalier de service (volées droites préfabriquées)
- Les séjours disposent, en façade, de balcons
- Les planchers sont en dalle pleine B.A.
- La terrasse B.A. est non accessible

Évaluer les charges d'exploitation

• Terrasse	→	1 000 N/m ²
• Plancher	→	1 500 N/m ²
• Balcons	→	3 500 N/m ²
• Escaliers	→	2 500 N/m ²

4. Application: calcul d'une descente de charges

Remarque préliminaire

La loi de dégression des charges d'exploitation n'est applicable qu'aux bâtiments d'habitation dont le nombre d'étages est supérieur à 5 en général (NF P 06-001).

Descriptif succinct

- Bâtiment d'habitation
- Fondations par semelles continues en B.A.
- Murs de façade en blocs creux de béton en gravillons lourds hourdés au mortier de ciment avec potelets raidisseurs incorporés et chaînages horizontaux
- Voile B.A. pour refend: ép^r 16 cm
- Plancher B.A. avec poutrelles préfabriquées et table de compression: type (16 + 4)
- Plancher-terrasse B.A. non accessible au public et avec protection lourde comprise: 5 000 N/m²
- Étanchéité multicouche: 120 N/m²

Vérifier les valeurs prises pour les charges permanentes et d'exploitation.

Contrôler les résultats obtenus pour les pressions exercées sur le sol de fondation dans le cas du mur de façade et du refend porteur.

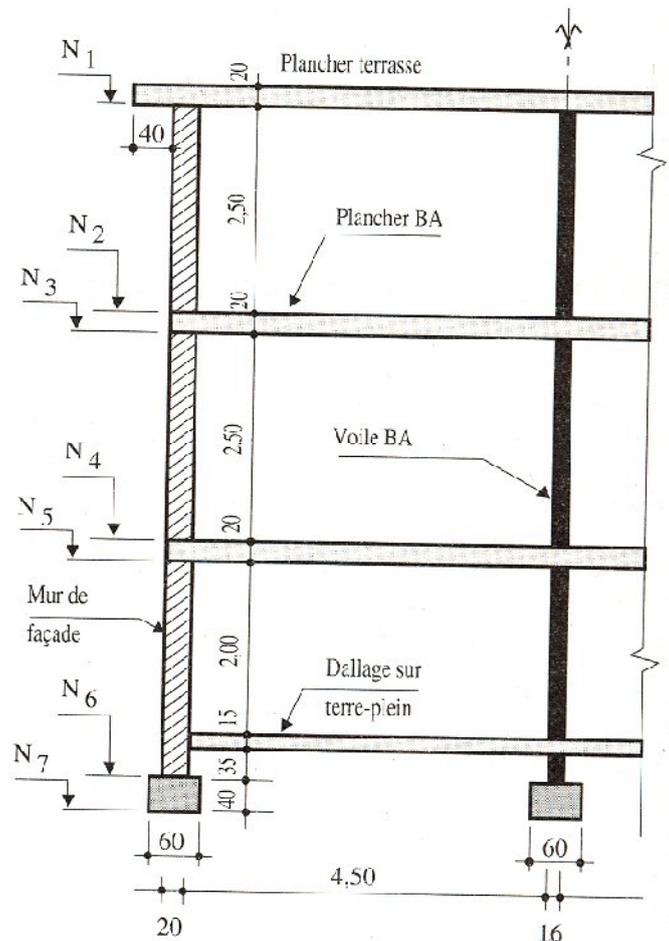


Fig. 1 Coupe schématique de la structure porteuse

Étapes du calcul

- Sélectionner une tranche de bâtiment de longueur 1,00 m (sans baie) et sur la hauteur totale du bâtiment.
- Considérer chaque travée de plancher indépendante (exemple : le refend porte une moitié de travée de part et d'autre).
- Différencier les charges permanentes et celles d'exploitation.
- Effectuer la descente de charges niveau par niveau par calcul cumulé à partir du haut.
- Calculer la pression exercée sur le sol :
 - sans coefficient de pondération,
 - avec coefficients de pondération.

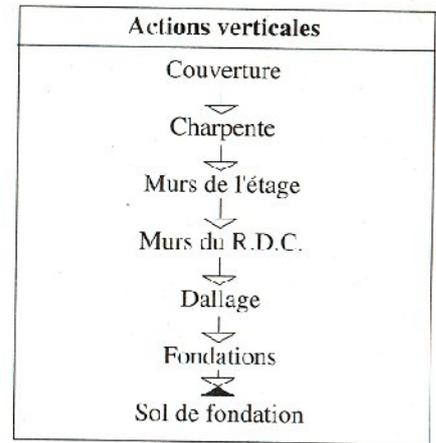


Fig. 2 Schéma de principe

Descente de charge pour le mur de façade

Niveau	Désignation des ouvrages	Charges permanentes G						Charges d'exploitation Q				
		L	l	H	Poids unité	Total	Cumul	L	l	Poids unité	Total	Cumul
N1	Étanchéité	2,85	1,00		120	342						
	Terrasse B. A.	2,85	1,00		5 000	14 250	14 592	2,85	1,00	1 000	2 850	2 850
N2	Mur de façade	1,00		2,50	2 700	6 750	21 342					2 850
N3	Plancher B. A.	2,45	1,00		2 850	6 983	28 325	2,25	1,00	1 500	3 375	6 225
N4	Mur de façade					6 750	35 075					6 225
N5	Plancher B. A.					6 983	42 058				3 375	9 600
N6	Mur de façade					6 750	48 808					9 600
N7	Semelle B. A.	1,00	0,60	0,40	25 000	6 000	54 808					9 600

- Pression exercée sur le sol de fondation sans application des coefficients de pondération :

$$\sigma = \frac{G + Q}{S} = \frac{54\,808 + 9\,600}{600 \times 1\,000} = 0,107 \text{ N/mm}^2, \text{ ou } 0,107 \text{ MPa}$$

- Avec coefficients de pondération :

$$\sigma = \frac{1,35 G + 1,50 Q}{S} = 0,147 \text{ MPa}$$

Descente de charge pour le refend porteur (voiles B.A.)

Calcul direct pour obtenir la contrainte exercée sur le sol

Charges d'exploitation

Sur terrasse	4 660 N
Sur planchers	13 500 N
	<u>18 160 N</u>

- Sans coefficient de pondération :

$$(G + Q) = 104\,581 \text{ N}$$

Contrainte exercée sur le sol : $\sigma_{\text{sol}} = 0,174 \text{ MPa}$

- Avec coefficients de pondération :

$$(1,35 G + 1,50 Q) = 143\,908 \text{ N}$$

Contrainte exercée sur le sol : $\sigma_{\text{sol}} = 0,240 \text{ MPa}$

Charges permanentes

Étanchéité	559 N
Plancher-terrasse	23 300 N
Planchers B.A.	26 562 N
Voiles	30 000 N
Semelle B.A.	<u>6 000 N</u>
TOTAL	86 421 N

DESSIN TECHNIQUE ET LECTURE DE PLAN

H. RENAUD



Ce manuel pratique aborde le dessin technique appliqué au Bâtiment à partir d'exemples concrets et de lectures de plans. Il propose : la visualisation des problèmes à traiter par des schémas perspectifs; l'acquisition et l'utilisation des conventions de représentations; des applications multiples sous la forme de lectures de plans et coupes, schémas ou croquis. De nombreux questionnaires-tests avec réponses complètent chacun des 22 thèmes d'étude abordés.

144 pages
Format : 21 x 29,7 cm

FOUCHER