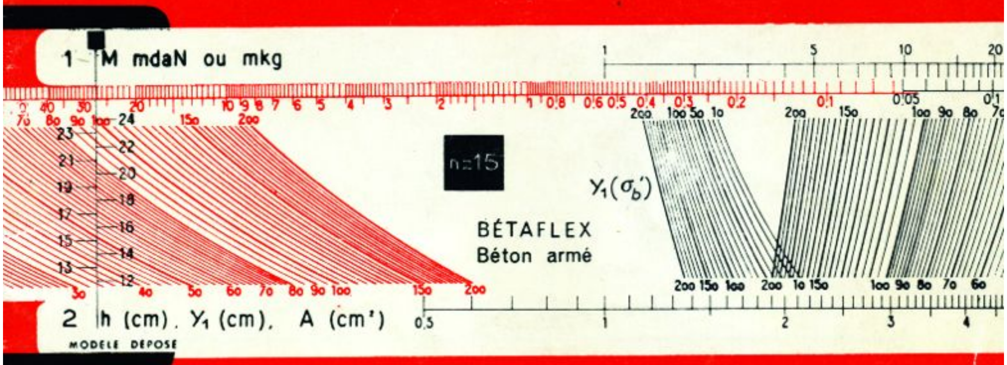
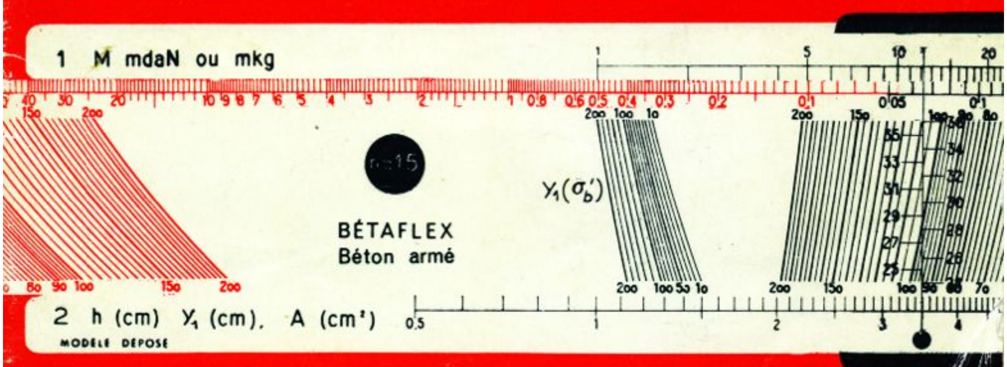


notice d'emploi
de la règle à calcul
bétaflex
(béton armé)

breveté s.g.d.g. — modèle déposé — système choquet



La règle **BETAFLEX** *(* **BET***on* **A***rmé* **FLEX***ion)* *permet d'organiser et de vérifier rapidement les sections résistantes en* **BÉTON ARMÉ**, *de forme* **rectangulaire** *et en* **T**, *soumises à la* **FLEXION** *simple ou composée.*

Sa conception originale, due à la combinaison d'échelles logarithmiques et d'abaques, en fait un appareil à **lecture directe** *précis, de maniement facile, permettant aux spécialistes du béton armé d'éviter de multiples calculs en obtenant* **instantanément** *des résultats sans risque d'erreurs.*

La règle **BETAFLEX** *bénéficie de l'expérience des bureaux d'études spécialisés de la S.N.C.F. et de grandes entreprises.*

Les exemples de cette notice ont été choisis et traités de manière à amener l'utilisateur à se servir rapidement de l'appareil.

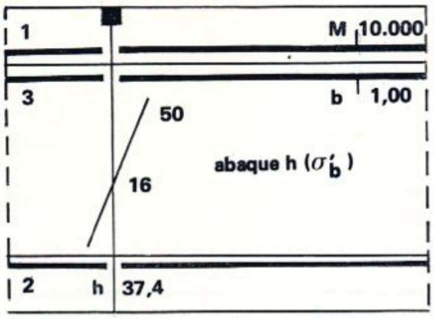


fig. 1

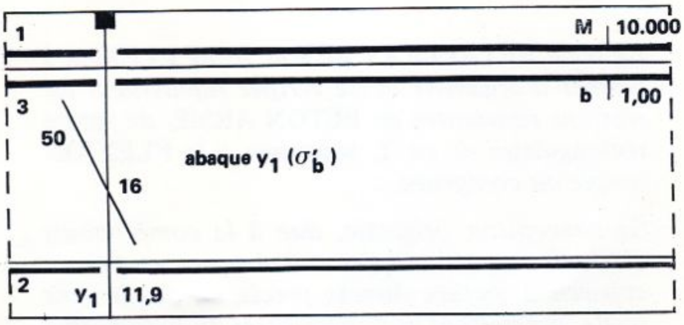


fig. 2

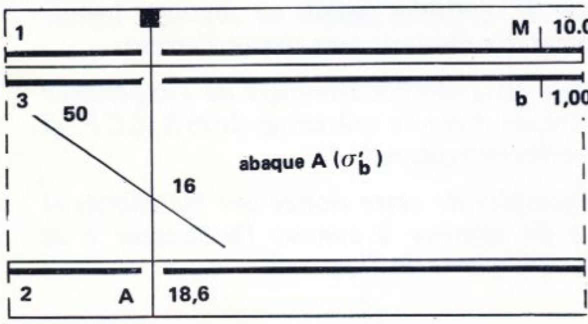


fig. 3

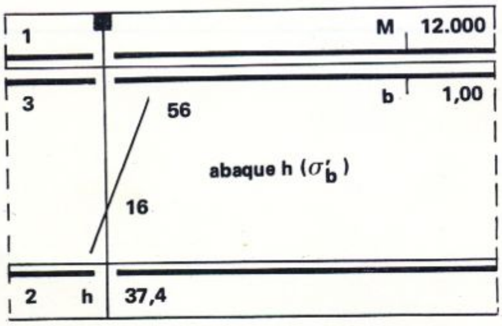
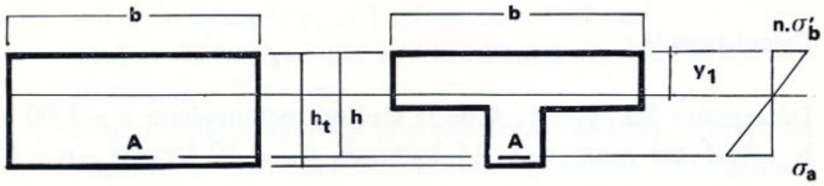


fig. 4

flexion simple

1) La section résistante ne comporte pas d'armatures comprimées ($\sigma'_b \leqslant \bar{\sigma}'_b$)

a) Section rectangulaire (ou en T avec fibre neutre dans ou en bordure de la table de compression) :



Calcul type I

Déterminer σ'_b , y_1 , z , A de la section rectangulaire **b = 1,00 m, h = 37,4 cm**, sous l'effet du moment **M = 10 000 mkg** avec σ_a **= 16 kg:mm²** − **n = 15**. On dispose d'armatures **Ø = 20 mm.**

- Utiliser la face de la réglette présentant le carré ($\sigma_a = 16$)

Fig. 1 - Disposer **b = 1,00 m** (échelle 3 noire) en regard de **M = 10 000 mkg** (échelle 1) et placer le trait de repère du curseur, portant le carré, sur **h = 37,4 cm** (échelle 2). Lire $\sigma'_b = 50$ **kg:cm²** sur l'abaque noir h (σ'_b) au droit du point 16.

Fig.2 - Faire coïncider ce point 16 avec $\sigma'_b = 50$ repéré sur l'abaque noir y_1 (σ'_b). Lire y_1 **= 11,9 cm** sur l'échelle 2.

- Placer le trait de repère du curseur sur **11,9** (échelle 3 rouge) et disposer le repère noir (**z**) de la réglette sous ce trait. Lire **z = 33,4 cm** (échelle 3 rouge) en regard de $\sigma'_b = 50$ (échelle 1).

Fig.3 - Disposer **b = 1,00 m** (échelle 3 rouge) en regard de **M = 10 000 mkg** (échelle 1) et faire coïncider le point 16 du curseur avec $\sigma'_b = 50$ repéré sur l'abaque rouge **A** (σ'_b). Lire **A = 18,6 cm²** sur l'échelle 2.

· Disposer le repère rouge situé sous l'abaque h (σ'_b) en regard de $\emptyset \doteq 2$ cm – ou 20 mm – (échelle 2). Lire **6 barres** (échelle 3 noire) en regard de **A = 18,6 cm²** – ou **1860 mm²** – (échelle 1). Placer le trait de repère du curseur sur **0,78** (échelle 3 noire) et amener 1 (échelle 3 noire) sous ce trait. Lire le poids au mètre **14,7 kg** des 6 barres **Ø 20 mm** sur l'échelle 1 en regard de 6 (échelle 3 noire).

Calcul type II :

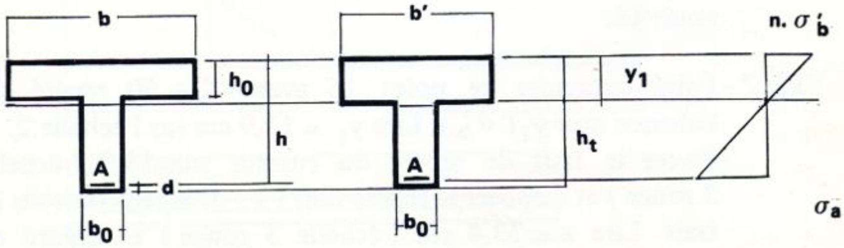
Déterminer **Mr , y_1 , z , A** de la section rectangulaire **b = 1,00 m, h = 37,4 cm** pour σ_a **= 16 kg:mm²**, σ'_b **= 50 kg:cm²** – **n = 15.**

- Utiliser la face de la réglette présentant le carré (σ_a **= 16**)

Fig. 1 - Placer le trait de repère du curseur, portant le carré, sur **h = 37,4** (échelle 2) et disposer la réglette de façon à faire coïncider σ'_b **= 50**, repéré sur l'abaque **h** (σ'_b), avec le point 16. Lire **Mr = 10 000 mkg** (échelle 1) en regard de **b = 1,00 m** (échelle 3 noire).

· Déterminer **y_1 , z , A** en opérant comme indiqué au calcul type précédent.

b) Section en T avec fibre neutre dans la nervure :



Calcul type III :

Déterminer σ'_b, y_1, A de la section en **T** $b = 1{,}00$ m, $b_o = 0{,}30$ m, $h = 70{,}6$ cm, $h_o = 8$ cm, sous l'effet de $M = 10\,000$ mkg – $\sigma_a = 20$ kg:mm² – $n = 15$.

- Supposer la section rectangulaire et procéder comme exposé au calcul type I. D'où :
  $\sigma'_b = 26$ kg:cm², $y_1 = 11{,}5$ cm, $A = 7{,}49$ cm²
  $11{,}5 > 8$ indique que la fibre neutre traverse la nervure
  Retenir $A = 7{,}49$ cm².
- Pour une détermination plus exacte de σ'_b et y_1, renouveler l'opération en supposant encore la section rectangulaire mais avec une largeur :

$$b' = b - \left(\frac{y_1 - h_o}{y_1}\right)^2 . (b - b_o) = 100 - \left(\frac{11{,}5-8}{11{,}5}\right)^2 . (100-30) = 93{,}5 \text{ cm}$$

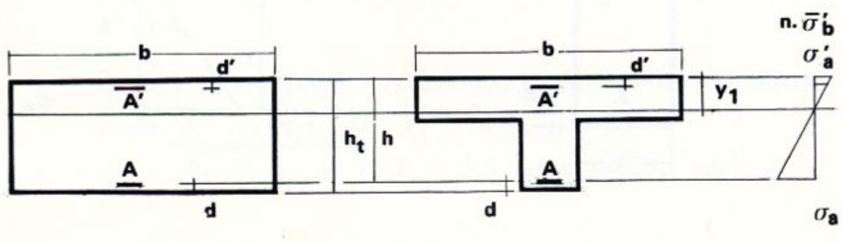
D'où : $\sigma'_b = 27$ kg:cm², $y_1 = 11{,}9$ cm

Ces résultats sont satisfaisants. En d'autres cas, leur précision est augmentée en renouvelant une dernière fois l'opération à partir d'une largeur :

$$b'' = b - \left(\frac{y_1 - h_o}{y_1}\right)^2 . (b - b_o)$$ où y_1 prend la dernière valeur trouvée

2) La section résistante comporte des armatures comprimées : $\sigma'_b > \overline{\sigma}'_b$

a) Section rectangulaire (ou en T avec fibre neutre dans ou en bordure de la table de compression)



Calcul type IV :

Déterminer y_1, A', A de la section rectangulaire b = 1,00 m, h = 37,4 cm, sous l'effet de M = 12 000 mkg avec $\overline{\sigma}'_b = 50$ kg:cm², $\sigma_a = 16$ kg:mm², d' = 4 cm – n = 15.

Fig.4 - Procéder suivant calcul type 1 en utilisant la face de la réglette présentant le carré ($\sigma_a = 16$) et le trait de repère correspondant du curseur. D'où : $\sigma'_b = 56 > 50$.

La section comporte des aciers comprimés.

- Déterminer Mr, y_1, A_1 pour $\overline{\sigma}'_b = 50$ en procédant suivant calcul type II. D'où :

  Mr = 10 000 mkg, $y_1 = 11,9$ cm, $A_1 = 18,6$ cm².

  En position correspondante à la fig.1, relever b' = 1,20 m au droit de M = 12 000 mkg et lire M – Mr = 2 000 mkg en regard de b' – b = 0,20 m.

- Utiliser les échelles 1 et 3 (propriété × et :) pour calculer

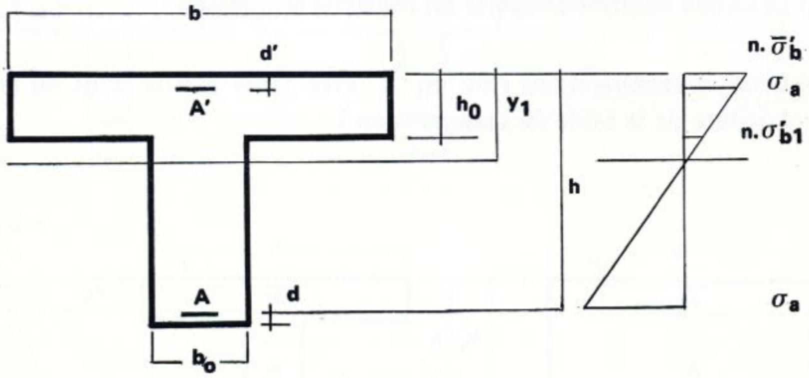
  $\sigma'_a = n.\sigma'_b.\dfrac{y_1 - d'}{y_1} = 5$ kg:mm².

- Disposer 0,25 de l'échelle 3 noire (point rouge) en regard de M – Mr = 2 000 mkg (échelle 1) et placer le trait de repère du curseur sur 1 (échelle 3 noire). Disposer h – d' = 0,334 m (échelle 3 noire) sous ce trait.

  Lire <u>A' = 12 cm²</u> et $A_2 = 3,7$ cm² sur l'échelle 1 au droit de $\sigma'_a = 5$ kg:mm² et $\sigma_a = 16$ kg:mm² (échelle 3 rouge).

  $A_1 + A_2 = 18,7 + 3,7 = \underline{A = 22,4 \text{ cm}^2}$.

b) Section en T avec fibre neutre dans la nervure :



Calcul type V :

Déterminer y_1, A', A de la section en **T** : **b = 1,00 m, h = 37,4 cm, b_o = 0,30 m, h_o = 9 cm,** sous l'effet de **M = 12 500 mkg** avec $\overline{\sigma}'_b = 50$ kg:cm², $\sigma_a = 16$ kg:mm², d' = 4 cm, n = 15.

- **Déterminer le moment résistant de la section (Mr) et la section d'armatures tendues correspondante (A_T) :**

Mr	=	Mr_1	—	Mr_2
moment résistant de la section en T		**moment résistant de la section rectanqulaire**		**moment résistant de l'évidement**

A_T	=	A_1	—	A_E

- Utiliser la face de la réglette présentant un carré ($\sigma_a = 16$) et le trait de repère correspondant du curseur.
- Déterminer Mr_1, y_1, A_1 de la section rectangulaire **b = 1,00 m, h = 37,4 cm** en procédant comme indiqué au calcul type II. D'où :

  Mr_1 = 10 000 mkg, y_1 = 11,9 cm > 9 cm, A_1 = 18,6 cm².
- Déterminer Mr_2, A_E de l'évidement **b_1 = 0,70 m, h_1 = 28,4 cm**

  (avec $\sigma'_{b_1} = \dfrac{11{,}9 - 9}{11{,}9} \cdot 50 = 12{,}3$ kg:cm² et $\sigma_a = 16$ kg:mm²)

  en procédant comme indiqué au calcul type II. D'où :

  Mr_2 = 350 mkg, A_E = 0,80 cm²
- **Mr = 10 000 − 350 = 9 650 mkg.**

  A_T = 18,6 − 0,80 = 17,8 cm².

- **Déterminer les sections d'armatures comprimées et tendues A' et A :**

- Procéder comme indiqué au calcul type IV avec **M - Mr = 2850 mkg**

  D'où : $\underline{A' = 17{,}1 \text{ cm}^2}$, A_2 = 5,3 cm²,

  $A_1 + A_2 = 17{,}8 + 5{,}3 = \underline{A = 23{,}1 \text{ cm}^2}$.

Remarque :

Les exemples qui précédent ont été traités en utilisant les échelles 1, 2, 3 et les abaques h (σ'_b), y_1 (σ'_b), A (σ'_b). Cette combinaison est très heureuse en avant-projet où, notamment, le fait de pouvoir jouer librement sur h et b tout en contrôlant σ'_b et σ_a rend aisé le dimensionnement des poutres.

De plus, l'éventail des contraintes apparentes :

. σ_a : 12 à 36 kg:mm² (ou hbar) sur le curseur
. σ'_b : 5 à 200 kg:cm² (ou bar) sur la réglette mobile
satisfait largement aux besoins de la pratique.

Pour la vérification de sections existantes, le recours aux échelles 1, 2, 3, 4, 5, comme le montrent les calculs types VI et VII ci-après, est souvent indiqué.

Quelle que soit la procédure adoptée, la lecture directe en exacte valeur des données et des résultats limite sinon élimine le calcul numérique et facilite le travail d'étude.

Calcul type VI :

Déterminer les contraintes σ_a et σ'_b de la section rectangulaire **b = 1,00 m, h = 150 cm, A = 83,3 cm²**, soumise à un moment **M = 200 mt – n = 15.**

- Placer **A = 83,3 cm²** (échelle 3 rouge) en regard de I (échelle I).

  Lire $\varpi = \dfrac{A\ (cm^2)}{b\ (m)\ .\ h\ (cm)}$ = **0,555** (échelle 3 rouge) au droit de b . h = 150 (échelle I).

- Disposer le trait de repère du curseur sur **0,555** (échelle 4) et amener $\dfrac{M\ (mt)}{b\ (m)}$ = **200 mt** (échelle 3 rouge) sous ce trait. Placer celui-ci sur **h = 150** (échelle 2) et lire σ_a = **18 kg:mm²** (échelle 3 rouge).

- Reprendre l'opération en disposant le trait de repère du curseur sur **0,555** (échelle 5) et lire σ'_b = **60 kg:cm²** (échelle 3 rouge).

Nota : Un contrôle de σ_a et σ'_b s'effectue aisément avec les abaques de la réglette.

Calcul type VII :

Déterminer le moment résistant **Mr** de la section rectangulaire **b = 1,00 m , h = 150 cm , A = 83,3 cm²** successivement pour σ_a **= 18 kg:mm²** et σ'_b **= 60 kg:cm² – n = 15.**

-Définir ϖ **= 0,555** en procédant suivant calcul type VI.

a) σ_a = **18 kg:mm²**

-Placer le trait de repère du curseur sur **h = 150 cm** (échelle 2) et amener σ_a **= 18 kg:mm²** (échelle 3 rouge) sous ce trait. Disposer celui-ci sur **0,555** (échelle 4) et lire **M = 200 mt** (échelle 3 rouge)

-Mr = b (m) . M (mt) = I . 200 = 200 mt

b) σ'_b **= 60 kg:cm²**

-Placer le trait de repère du curseur sur **h = 150 cm** (échelle 2) et amener σ'_b **= 60 kg:cm²** (échelle 3 rouge) sous ce trait. Disposer celui-ci sur **0,555** (échelle 5) et lire **M = 200 mt** (échelle 3 rouge)

-Mr = b (m) . M (mt) = I . 200 = 200 mt.

Nota : Dans chacun des cas, un contrôle de **Mr** *s'effectue aisément avec les abaques de la réglette.*

Remarque :

Les calculs types VI et VII font ressortir le rôle important de l'échelle 3 rouge où **M (mt),** σ_a **(kg:mm²),** σ'_b **(kg:cm²)** sont lus directement en valeur exacte, pratiquement sans limitation pour σ_a et σ'_b.

flexion composée

Le calcul des sections résistantes partiellement comprimées, soumises à un effort normal de compression N (effort excentré), s'effectue en **flexion simple** sous l'effet d'un moment fictif égal au moment de l'effort normal par rapport au centre de gravité des armatures tendues (N.l.)

1) La section comporte des armatures comprimées :

$N \ . \ 1 > Mr$ (section rectangulaire)

$N \ . \ 1 > Mr_1 - Mr_2 = Mr$ (section en T)

$$A = A_1 - \frac{N}{\sigma_a}$$

$$A' = A'_1$$

A_1 et A'_1 étant les sections d'armatures tendues et comprimées déterminées à partir du moment fictif N.l.

2) La section ne comporte pas d'armatures comprimées :

$N \ . \ 1 < Mr$ (section rectangulaire)

$N \ . \ 1 < Mr_1 - Mr_2 = Mr$ (section en T)

$$A = A_1 - \frac{N}{\sigma_a}$$

Nota : Si N *est un effort de traction, les formules ci-dessus restent valables à la condition de changer* N *en* -N.

Calcul type VIII :

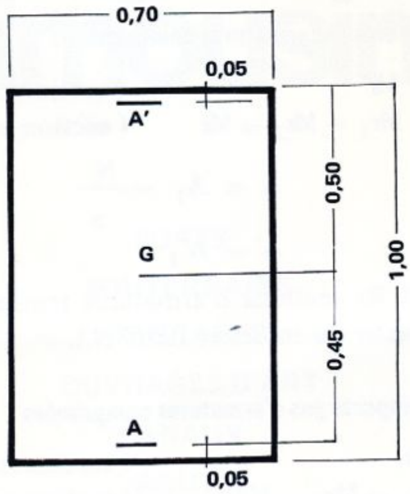
Déterminer **y_1, A, A'**, de la section rectangulaire **$b = 0{,}70$ m, $h_t = 100$ cm, $d = d' = 5$ cm**, soumise à un effort normal de compression **$N = 40$ t** et à un moment **$M = 60$ mt**, rapportés au centre de gravité de béton seul – avec **$\bar{\sigma}'_b = 70$ kg:cm^2, $\sigma_a = 20$ kg:mm^2 – $n = 15$.**

- Procéder suivant calcul type II.
  $Mr = 67\,380$ mkg, $y_1 = 32{,}7$ cm, $A_1 = 40{,}05\ cm^2$
- $N.1 = 60 + 40 \times 0{,}45 = 78$ mt $> Mr$

  La section comporte des armatures comprimées.
- Procéder suivant calcul type IV.

  $A = 46 - \dfrac{40\,000}{2\,000} = 26\ cm^2$

  $A' = 13{,}2\ cm^2$



Calcul type IX :

Même problème avec $\bar{\sigma}'_b = 80\ kg{:}cm^2$.

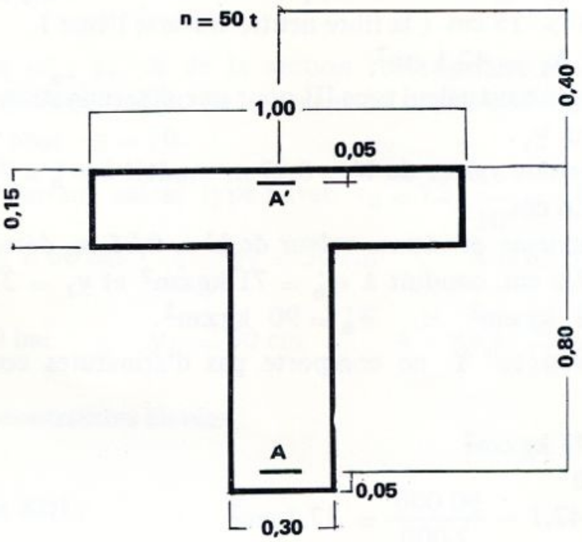
- Déterminer le moment résistant de la section rectangulaire à partir de $\bar{\sigma}'_b = 80\ kg{:}cm^2$ en procédant suivant calcul type II.
  $Mr = 82\,920$ mkg $>$ $78\,000$ mkg.

  La section ne comporte pas d'armatures comprimées.
- Procéder alors suivant calcul type I, à partir du moment $N.1 = 78\,000$ mkg. D'où :
  $\sigma'_b = 77\ kg{:}cm^2$, $y_1 = 34{,}7$ cm , $A_1 = 47\ cm^2$
- $A = 47 - \dfrac{40\,000}{2\,000} = 27\ cm^2$

  $A' = 0$

Calcul type X :

Déterminer y_1, A, A', de la section en T, **b = 1,00 m, h = 80 cm, b_o = 0,30 m, h_o = 15 cm, d = d' = 5 cm,** soumise à un effort normal de compression **N = 50 t** appliqué à **0,40 m** au-dessus de la table avec $\overline{\sigma}'_b$ **= 65 kg:cm²**, σ_a **= 20 kg:mm² – n = 15.**



- Déterminer le moment résistant de la section en T et la section d'armatures tendues correspondante à partir de $\overline{\sigma}'_b$ **= 65 kg:cm²** en procédant suivant calcul type V. D'où :

  y_1 = 26,2 cm > 15 cm (la fibre neutre traverse l'âme)
  Mr_1 = 60 720 mkg **A_1 = 42,6 cm²**
  Mr_2 = 6 690 mkg **A_E = 5,4 cm²**
  Mr = Mr_1 – Mr_2 = 54 030 mkg
  A_T = A_1 – A_E = 37,2 cm²
  N.1 = 50 000 (0,80 + 0,40) = **60 000 mkg > Mr**
  La section comporte des armatures comprimées.
- Procéder alors suivant calcul type IV. D'où :

$$\mathbf{A} = 41 - \frac{50\,000}{2\,000} = \mathbf{16\ cm^2} \qquad \mathbf{A' = 10,1\ cm^2}$$

Calcul type XI :

Même problème avec $\bar{\sigma}'_b = 90$ **kg:cm²**.

- Procéder suivant calcul type I à partir du moment fictif **N.1 = 60 000 mkg** en supposant la section rectangulaire.
  D'où :
  $\sigma'_b = 64{,}5$ **kg:cm²** , $y_1 = 26{,}1$ **cm** , $A_1 = 42{,}1$ **cm²**
  26,1 cm > **15 cm** (la fibre neutre traverse l'âme).
  Retenir $A_1 = 42{,}1$ **cm²**
- Procéder suivant calcul type III pour une détermination plus exacte de σ'_b et y_1.
  Une première valeur de **b' = 0,87 m** conduit à $\sigma'_b = 70$ **kg:cm²** et $y_1 = 27{,}6$ **cm.**
  Une deuxième et ultime valeur de **b' = 0,85 m**, déterminée avec $y_1 = 27{,}6$ **cm**, conduit à $\sigma'_b = 71$ **kg:cm²** et $y_1 = 27{,}9$ **cm.**
  $\sigma'_b = 71$ **kg:cm²** < $\bar{\sigma}'_b = 90$ **kg:cm²**.
  La section en **T** ne comporte pas d'armatures comprimées.
- D'où :
  $\sigma'_b = 71$ **kg:cm²**
  $A' = 0$
  $A = 42{,}1 - \dfrac{50\,000}{2\,000} = 17{,}1$ **cm²**

calculs divers

La règle **BETAFLEX** est utilisable :

- pour $n \neq 15$

Calcul type XII :

Déterminer σ'_b, y_1, A de la section rectangulaire $b = 1{,}00$ m, $h = 150$ cm, sous l'effet du moment $M = 200\,000$ mdaN pour $\sigma_a = 12$ hbar - $n = 10$

-Procéder suivant calcul type I avec $\sigma_a = 12 \cdot \dfrac{15}{10} = 18$ hbar

D'où : $\sigma'_b = 60$ bar , $y_1 = 50$ cm , $A = 83{,}3$ cm^2 .

-Résultats :

$\sigma'_b = 60$ bar , $y_1 = 50$ cm , $A = 83{,}3 \cdot \dfrac{15}{10} = 125$ cm^2

- pour des contraintes élevées :

Calcul type XIII :

Déterminer Mr, y_1, A de la section rectangulaire $b = 1{,}00$ m, $h = 150$ cm pour $\sigma'_b = 250$ bar et $\sigma_a = 42$ hbar - $n = 15$.

-Procéder suivant calcul type II en considérant une section rectangulaire de même hauteur et de largeur b x m et des contraintes $\sigma'_b = \dfrac{250}{m}$ bar et $\sigma_a = \dfrac{42}{m}$ hbar

-Pour $m = 2$, on obtient :

Mr = 1 118 000 mdaN , $y_1 = 70{,}7$ cm , $A_1 = 421$ cm^2

-Résultats :

Mr = 1 118 000 mdaN , $y_1 = 70{,}7$ cm , $A = \dfrac{421}{2} = 210{,}5$ cm^2

- pour le calcul du moment maximal d'une poutre à travée indépendante uniformément chargée :

Calcul type XIV :

Calculer le moment maximal d'une poutre appuyée sur 2 appuis libres, de **6,00 m** de portée, supportant une charge de **2 t au m.l.**

- Les nombres lus sur l'échelle I étant les carrés de ceux situés en regard sur l'échelle 2, disposer un des traits de repère du curseur sur 6 (éch. 2) et déplacer la réglette de manière à amener 2 (éch. 3 rouge) sous ce trait.

  Lire $M = \frac{pl^2}{8}$ = **9 mt** (éch. I) en regard de 8 (éch. 3 rouge)

- **pour le calcul de moments d'inertie :**

Calcul type XV :

Calculer le moment d'inertie $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$ d'une section de **30 cm** de largeur et de **60 cm** de hauteur.

- Placer l'un des traits de repère du curseur sur 60 (éch. 2) et disposer la réglette de façon à amener 60 (éch. 3 rouge) sous ce trait
- Placer le trait de repère du curseur sur 12 (éch. 3 rouge) et déplacer la réglette de façon a amener 30 (éch. 3 rouge) sous ce trait.

  Lire **I = 540 000 cm⁴** $= \frac{b.h^3}{12}$ (éch. I) en regard de I (éch. 3 rouge)

- **pour le calcul des inverses des nombres :**

Calcul type XVI :

- Placer I (éch. 3 rouge) en regard de I (éch. I)

  Lire les inverses des nombres de 1 à 100 sur l'éch. 3 rouge en regard de ceux-ci (éch. I).
- Placer 10 (éch. 3 rouge) en regard de I (éch. I)

  Lire les inverses des nombres de 1 à 1000 sur l'éch. 3 rouge en regard de ceux-ci (éch. I), en ayant soin de déplacer la virgule d'un rang vers la gauche.

  . . . .