

Charges concentrées près des appuis

1 – Effort tranchant près des appuis en l'absence de charges concentrées notables.

EC2 - § 6.2.1 (8) : " Dans le cas des éléments soumis principalement à des charges uniformément réparties, il n'ya pas lieu d'effectuer de vérification à l'effort tranchant à une distance au nu de l'appui inférieure à d . Il convient de maintenir les armatures d'effort tranchant requises jusqu'au droit de l'appui."

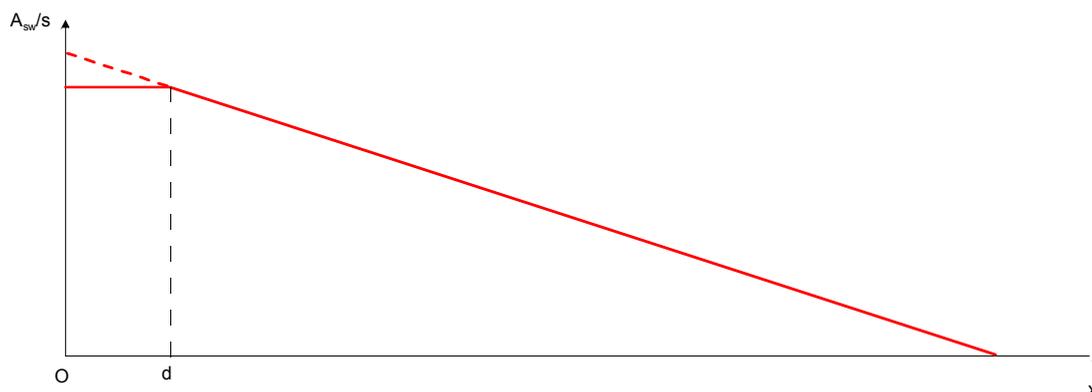


Fig. 1 - Section d'armatures d'effort tranchant sans charges concentrées notables

Qu'entend-t-on par "principalement" ?

Peut-on se fixer comme critère que l'effort tranchant dû aux charges uniformément réparties (totales ou partielles) est supérieur à l'effort tranchant dû aux autres charges (concentrées) ?

2 – Effort tranchant près des appuis en présence de charges concentrées notables.

EC2 - § 6.2.2 (6) : " Lorsque des charges sont appliquées sur la face supérieure de l'élément, à une distance a_v du nu de l'appui telle que $0,5d \leq a_v < 2d$ (ou au centre de l'appareil d'appui s'il est souple), la contribution de cette charge à l'effort tranchant agissant V_{Ed} peut être multipliée par $\beta = a_v / 2d$. Cette réduction peut être appliquée pour la vérification de $V_{Rd,c}$ dans l'Expression (6.2a). Ceci n'est valable que si les armatures longitudinales sont totalement ancrées au droit de l'appui. Pour $a_v \leq 0,5d$, il convient de prendre la valeur $a_v = 0,5d$."

En application du 6.2.2 (6), le schéma de transmission d'une charge concentrée peut être représenté par un système de 4 bielles, dont une qui va directement de la charge à l'appui et les 3 autres nécessitent d'être reprises par des cadres tel que décrit sur la figure ci-dessous extraite du background EC2 :

Pour 3 cadres régulièrement espacés, leur position est à $a_v/4$, $a_v/2$ et $3a_v/4$ du nu de l'appui. Leur zone d'influence va donc de l'abscisse $a_v/8$ à $7a_v/8$, sur la longueur $0,75a_v$.

Remarque. Par la théorie des bielles, on pourrait considérer une bielle unique (en rose sur la Fig.2) partant de la charge et allant directement à l'appui, sans armatures d'effort tranchant.

Cette disposition, sans armatures, pourrait conduire à une rupture fragile.

On disposera alors de cadres, mais on peut se poser la question de savoir quelle est la proportion de charge qui passe par la bielle principale (en rose) et celle qui passe par les 3 bielles-cadres. Par sécurité, les auteurs de l'EC2 ont retenu 100 % par les cadres, d'où l'expression 6.19.

$$V_{Ed} \leq A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha \quad (6.19)$$

6.2.3.3. Members reinforced in shear with loads near to supports

Similar to members without shear reinforcement, in members with shear reinforcement the load bearing capacity is increased for loads near to supports. In the Standard Method, as formulated in ENV 1992-1-1 this was taken into account by multiplying the "concrete term", with a factor $(2d/x)$. However, the Variable Inclination Method not containing a concrete term, it was introduced here for $x/d < 2$. The formulation for this case is then

$$V_{Rd} = V_{Rd,ct} + A_{sw} f_{ywd} \sin \alpha \quad (6.30)$$

The transmission of forces occurs according to Fig. 6.36.

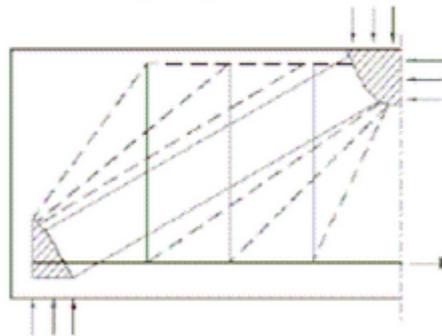


Fig. 6.36. Combination of truss and strut and tie.

Measurements on shear reinforcement showed that the stirrups just adjacent to the load- and support area do not reach the yield stress, (Asin, 2000). Therefore the shear reinforcement is considered to be effective only within the central 0,75 area between load and support.

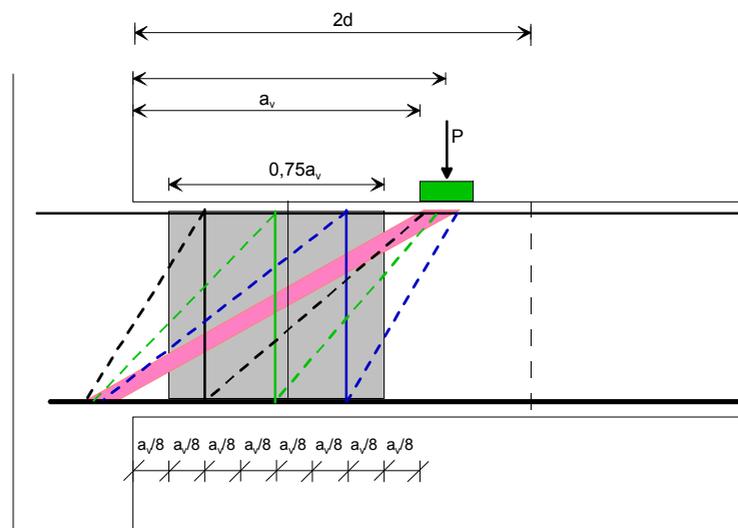


Fig. 2 – Schéma de reprise de la charge concentrée avec 3 cadres

Lorsque l'élément n'est pas soumis principalement à des charges réparties uniformes, on ne peut plus prendre l'effort tranchant à une distance d de l'appui pour déterminer les armatures d'effort tranchant à l'appui. Donc, la totalité des charges réparties uniformes est à prendre en compte. Cependant, rien ne nous empêche de considérer une charge répartie uniforme comme une somme de charges concentrées régulièrement espacées.

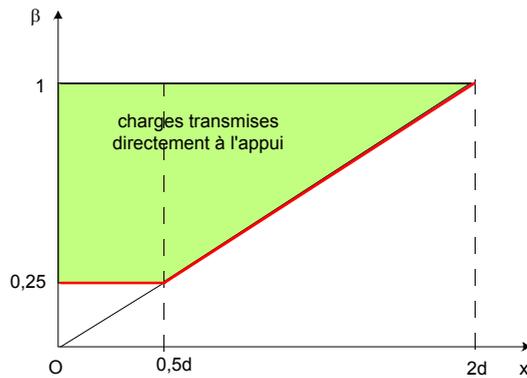


Fig. 3 – Part de charges répartie transmise directement à l'appui (coefficient β en rouge)

Pour une abscisse x comprise entre $0,5d$ et $2d$, le coefficient β vaut $0,5a_v/d$, la charge transmise

directement à l'appui est donnée par : $\Delta V = p.d \left(1 - \frac{x}{2d}\right)^2$ soit $\Delta V = 9p.d/16$ à l'abscisse $0,5d$.

Pour une abscisse x comprise entre 0 et $0,5d$, avec un coefficient $\beta = 0,25$, la charge transmise

directement à l'appui est donnée par : $\Delta V = \frac{15p.d}{16} - \frac{3p.x}{4}$ soit $\Delta V = 15p.d/16 = 0,9375p.d$ au nu de l'appui.

On constate que cette valeur est peu différente de la valeur $p.d$ donnée par l'article 6.2.1 (8) en l'absence de charges concentrées notables.

La charge restant à reprendre vaut $V_r = 17p.d/16 = 1,0625p.d$ au lieu de $p.d$.

Ou encore, l'effort tranchant de calcul à l'appui est celui qui correspond à la distance de l'appui égale à $15d/16 = 0,9375 d$.

3 – Armatures d'effort tranchant près des appuis en l'absence de charges concentrées notables.

EC2, § 6.2.3 (4) : " Dans le cas des éléments comportant des armatures d'effort tranchant inclinées, l'effort tranchant résistant est la plus petite des valeurs ci-dessous :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha \quad \dots (6.13)$$

$$\text{et } V_{Rmax} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta) \quad \dots (6.14)''.$$

L'équation 6.13 peut s'écrire : $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha}$

Pour $\theta = 45^\circ$ et $\alpha = 90^\circ$, on obtient : $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd}}$.

4 – Armatures d'effort tranchant près des appuis en présence de charges concentrées notables

De l'abscisse 0 à l'abscisse $2d$, on remplace la charge répartie uniforme par une série de charges concentrées égales et équidistantes. Par raison de symétrie, ces charges ne sont pas affectées du coefficient $(1 - a/L)$.

Calcul de la section d'armature d'effort tranchant par unité de longueur.

Par pas de $2d/N$ avec $N = 4$; $N = 16$; $N = 64$; $N = 2048$,

On calcule :

- l'effort tranchant avant réduction : $V = \frac{p \cdot (2d)}{N}$ correspondant à la charge sur une longueur $2d/N$

- le coefficient de réduction $\beta = \frac{a_v}{2d}$ limité à un minimum de $0,25$

Le cas où cette limite n'est pas prise en compte (*no limit*) montre, sur le graphique de la figure 4 que l'incidence est faible.

- distance du bord de la charge au nu de l'appui : $a_v = \frac{(i-1) \cdot 2d}{N}$

- section d'armatures par unité de longueur : $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{\beta.V}{(0,75a_v).f_{yd}}$

Nous avons supposé :

- hauteur utile : $d = 1$;
- charge par unité de longueur : $p = 1$;
- contrainte de calcul de l'armature : $f_{yd} = 1$.

. Si l'on ne prend pas en compte la transmission directe à l'appui, on obtient la droite pointillée noir.

. Si l'on ne limite pas le coefficient à $\beta = 0,25$, on a une section maximale d'armature de 1,135, ce qui est équivalent à la section d'armature que l'on obtiendrait en prenant l'effort tranchant à l'abscisse $2 - 1,135 = 0,865d$.

. Si l'on limite le coefficient à $\beta = 0,25$, on a une section maximale d'armature de 1,173, ce qui est équivalent à la section d'armature que l'on obtiendrait en prenant l'effort tranchant à l'abscisse $2 - 1,173 = 0,827d$, que nous pouvons arrondir à 0,8d.

On retiendra qu'une charge répartie uniforme peut être assimilée à une succession de petites charges concentrées et de ce fait bénéficier d'une transmission directe à l'appui suivant l'article 6.2.3 (8), à défaut de pouvoir être dans les conditions d'application de l'article 6.2.1 (8). La section d'armature calculée à la distance 0,8d du nu de l'appui est prolongée jusqu'à l'appui.

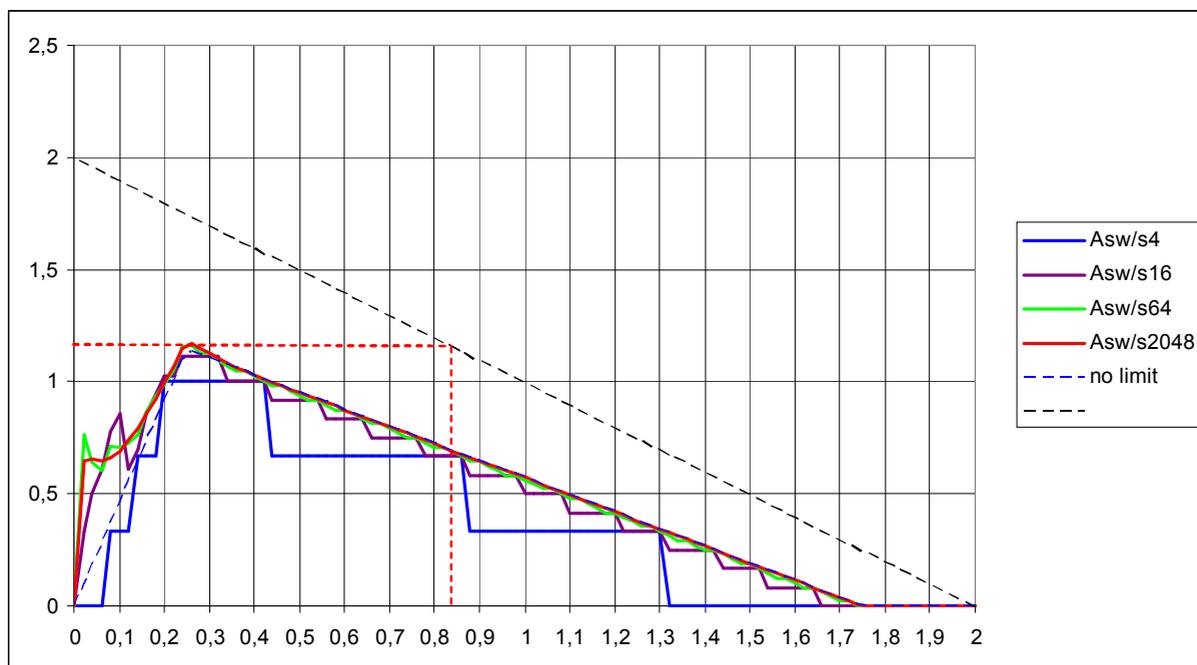


Fig. 4 – Décomposition de la charge répartie d'une longueur 2d en 4, 16, 64 et 2048 charges élémentaires avec $0,25 \leq \beta \leq 1$ – Cas *no limit* avec 2048 charges élémentaires et $0 \leq \beta \leq 1$ - En pointillé noir, sans prendre en compte la transmission directe à l'appui.

Pour plusieurs charges concentrées près des appuis, on appliquera le principe de superposition des treillis, comme cela est pratiqué dans le cas du treillis de Ritter-Mörsch. On superposera donc les sections d'armatures nécessaires.

Naturellement, on procédera par palier en prenant l'enveloppe des sections sur une certaine longueur.

5 – Vérification de la bielle d'appui – Exp. (6.14) de l'EC2

- La bielle N° 1 (rouge sur la Fig. 1), d'inclinaison θ (au choix du projeteur), transmet toutes les charges sauf la charge (ou les charges) P située à moins de 2d du nu de l'appui.
- Les trois ensembles bielle-tirant-bielle N° 2 à 4 (BTB) transmettent la charge P jusqu'à l'appui.
- La bielle unique N° 5 (rose) devrait représenter le cheminement privilégié de transmission de la charge P à l'appui, car assurant le trajet le plus court. En l'absence d'armatures, la rupture de cette bielle serait de type fragile. Pour pallier cet inconvénient, l'EC2 a retenu trois ensembles de bielle-tirant-bielle (bleu-vert-noir).

L'inclinaison de la bielle unique N° 5 étant plus faible, que celles des 2x3 bielles BTB, la contrainte de compression est plus élevée dans cette bielle N° 5 que dans les bielles gauches BTB.
 Pour vérifier l'expression (6.14) nous retiendrons donc la bielle N° 1 et la bielle N° 5 dont nous composerons vectoriellement les efforts de compression.

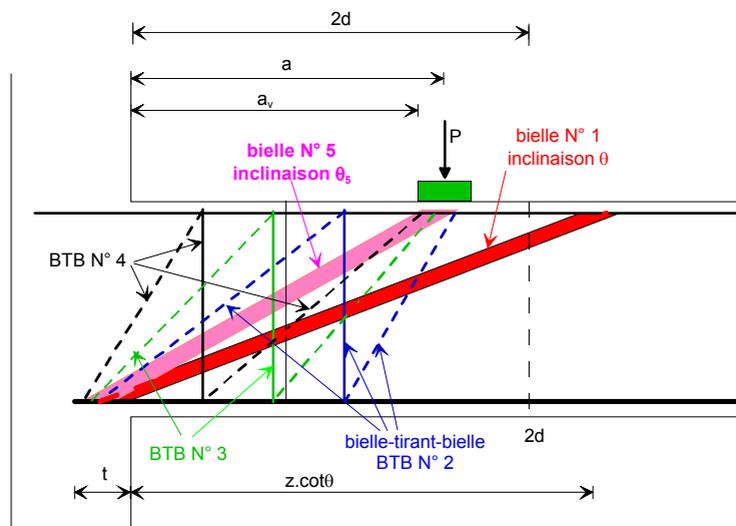


Fig. 5 – Bielles d'appui

Bielle N°	effort tranchant	inclinaison	composante horizontale	Composante verticale
1	V_1	$\cot\theta$	X_1	V_1
5	$V_5 = P(1 - a/L)$	$\cot\theta_5 = (a + t) / z$	X_2	V_5
		Somme	$X = X_1 + X_2$	$Y = V_1 + V_5$

L'inclinaison de la bielle d'appui est donnée par $\cot\theta_a = Y/X$, valeur que l'on entrera dans l'expression (6.14).

6 - Texte proposé en application pure et simple de l'EC2

Calcul des armatures d'effort tranchant dans le cas de charges concentrées situées à une distance inférieure à 2d du nu de l'appui

- 1 – Pour une seule charge concentrée P située à l'abscisse a du nu de l'appui et dont le bord de charge est à la distance $a_v < 2d$ du nu de l'appui :
 - a) - pour toutes les abscisses comprises entre 0 et L_n , on calcule l'effort tranchant de toutes les charges concentrées situées au-delà de 2d de l'appui et de toutes les charges réparties ;
 - b) - pour les abscisses au-delà de 2d, on ajoute l'effort tranchant dû à la charge concentrée étudiée ($V = P.a/L$) ;
 - c) pour toutes les abscisses comprises entre 0 et L_n , on calcule la section d'armature d'effort tranchant nécessaire selon l'expression 6.13 de l'EC2 à partir de l'effort tranchant précédemment calculé ;
 - d) – pour la charge concentrée étudiée, on ajoute la section d'armatures nécessaire selon l'expression 6.19 de l'EC2 que l'on répartit sur une longueur $0,75a_v$ à partir de l'abscisse $a_v/8$ du nu de l'appui.

2 - Pour d'autres charges concentrées situées à moins de 2d de l'appui, on procède comme en b) et d) ci-dessus en additionnant les armatures ainsi calculées.

Remarque. Comme il n'est pas possible d'appliquer la clause 6.2.1 (8) pour les charges réparties uniformes situées près des appuis, il est loisible de considérer la charge répartie sur la longueur 2d comme une succession de petites charges concentrées et d'appliquer le principe ci-dessus. Ceci conduit à calculer la section d'armatures due aux charges répartie à l'abscisse $0,8d$ (au lieu de d en l'absence de charges concentrées) et de maintenir cette valeur jusqu'à l'appui.

$$(6.13) \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V}{z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha} \text{ en zone courante}$$

$$(6.19) V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V}{(0,75a_v) \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha} \text{ par unité de longueur}$$

La valeur de l'effort tranchant maximal $V_{Rd,max}$ de l'expression (6.14) est calculée en remplaçant $\cot \theta$ par $\cot \theta_a$. L'inclinaison θ_a est celle de la résultante de l'effort de compression de :

- la bielle d'appui d'inclinaison θ , valeur choisie par le projeteur, qui reprend toutes les charges autres que celles situées à moins de $2d$ de l'appui étudié,
- de la bielle (ou des bielles pour plusieurs charges) de la charge (ou des charges) située à moins de $2d$ de l'appui étudié et allant directement de la charge à l'appui.

$$(6.14) \rightarrow V_{Rd,max} = a_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta}$$

7 – Exemple numérique

Poutre isostatique de 8 m de portée entre nus d'appuis.

Section rectangulaire $b = 0,4$ m
 Hauteur utile $d = 1,0$ m
 Charge répartie uniforme pondérée ELU $p = 0,1$ MN/m
 Deux charges concentrées de $0,4$ MN pondérées ELU sur un carré de $0,20$ m de côté,
 d'où $a_v = a - 0,2/2 = 0,80 - 0,1 = 0,70$ m
 Armatures d'effort tranchant verticales : $\cot \alpha = 0$
 Largeur d'appui pour la bielle a priori : $t = 0,36$ m
 $f_{ywd} = 435$ MPa et $f_{ck} = 25$ MPa
 $\cot \theta$ choisi = 2
 Le choix de $\cot \theta$ est indépendant de la présence ou non de charges concentrées.

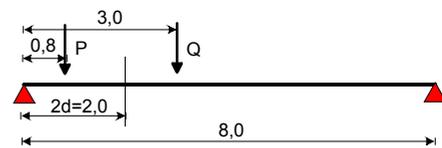


Fig. 6 - Poutre

Charge répartie uniforme.

Effort tranchant tenant compte d'une transmission directe à l'appui correspondant à l'abscisse $0,8d = 0,80$ m

$$V = p \cdot \left(\frac{L}{2} - 0,8d \right) = 0,1 \times (4 - 0,8) = 0,32 \text{ MN}$$

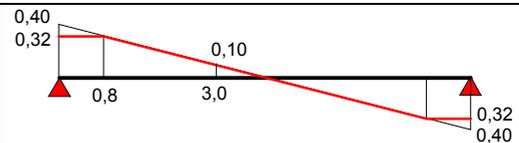


Fig. 7 – Charge uniforme

Charge concentrée à plus de $2d$ de l'appui : $a > 2d$

$$V = P \left(1 - \frac{a}{L} \right) = 0,4 \times \left(1 - \frac{3}{8} \right) = 0,25 \text{ MN}$$

$$\text{et } V = 0,25 - 0,4 = -0,15 \text{ MN}$$

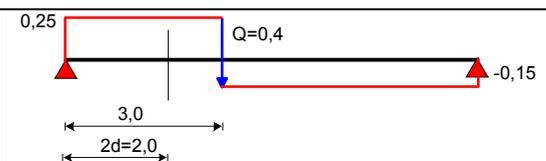


Fig. 8 - Charge concentrée loin appui

Charge concentrée à moins de $2d$ de l'appui $a < 2d$

$$V = P \left(1 - \frac{a}{L} \right) = 0,4 \times \left(1 - \frac{0,8}{8} \right) = 0,36 \text{ MN}$$

$$\text{et } V = 0,36 - 0,4 = -0,04 \text{ MN}$$

$$\beta = \frac{a_v}{2d} = \frac{0,7}{2} = 0,35 > 0,25$$

$$V_r = \beta \cdot V = 0,35 \times 0,36 = 0,126 \text{ MN}$$

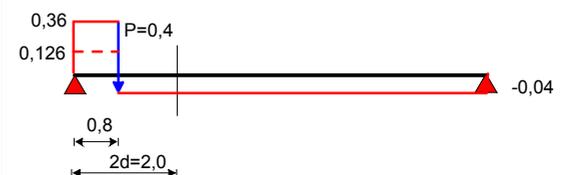


Fig. 9 – Charge concentrée près appui

Effort tranchant en valeur absolue pour le calcul des armatures suivant l'expression (6.13) hors charges à moins de 2d des appuis pour les abscisses de calcul comprises entre 0 et a_v

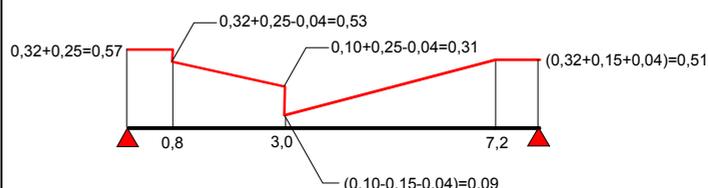


Fig.10 – Effort tranchant pour le calcul des armatures

Armatures d'effort tranchant - Expression (6.13)
Pour toutes les charges sauf celles situées à moins de 2d de l'appui :

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V}{z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V \times 10^4}{0,9 \times 435 \times 2} = 12,77 \text{ V}$$

Soit $0,57 \times 12,77 = 7,28 \text{ cm}^2/\text{m}$ à l'appui gauche et $0,51 \times 12,77 = 6,51$ à l'appui droit

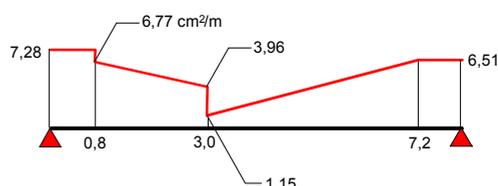


Fig.11 – Armatures d'effort tranchant sauf charge concentrée près de l'appui

Armatures d'effort tranchant - Expression (6.19)
Pour la charge située à moins de 2d de l'appui et pour les abscisses comprises entre 0 et a_v :

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_r}{(0,75a_v) \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{0,126 \times 10^4}{(0,75 \times 0,7) \times 435} = 5,52 \text{ cm}^2/\text{m sur la longueur}$$

$0,75 a_v = 0,825 \text{ m}$
à partir de $a_v/8 = 0,088 \text{ m}$ du nu de l'appui

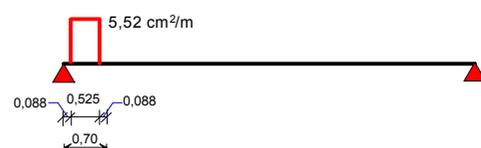


Fig.12 – Armatures d'effort tranchant de la charge concentrée près de l'appui

Pourcentage minimal : $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{0,08 b_w \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \times 0,4 \times 5 \times 10^4}{500} = 3,2 \text{ cm}^2/\text{m}$

Cours de 1 cadre HA8 et deux épingles HA8 = 2,01 cm².

Armatures nécessaires $(A_{sw}/s)_{rqd}$ – Armatures mises en place $(A_{sw}/s)_{prov}$

depuis l'appui	$\left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{rqd}$	$s \leq 0,75d = 750 \text{ mm}$	$\left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{prov}$	n	Longueur palier ⁽⁴⁾	Longueur cumulée m
gauche	12,80 ⁽¹⁾	150 ⁽²⁾	13,40	5 ⁽³⁾	0,75	0,08 + 0,75 = 0,83 > 0,80
	6,73 ⁽⁵⁾	290 ⁽⁶⁾	6,93	4	1,16	1,99 < 3
	5,25 ⁽⁷⁾	380	5,29	3	1,14	3,13 ≥ 3,0
droit	6,51	300	6,70	6,5 ⁽⁸⁾	1,95	1,95
	5,04 ⁽⁹⁾	390	5,15	4	1,56	3,51 < 8 – 3 = 5,0
	3,20 ⁽¹⁰⁾	620	3,24	3 ⁽¹¹⁾	1,36	

(1) 7,28 + 5,52 = 12,80

(2) 2,01 / 12,80 = 0,157 arrondi à 150 mm

(3) 0,8 / 0,15 = 5,3 et en tenant compte de l'espacement de départ, on arrondit à 5 x 150 + 80 = 830

(4) Comme l'article 6.2.3 (5) reproduit dans la Remarque 2 ci-après ne peut s'appliquer, on n'a pas de condition à satisfaire pour la longueur des paliers.

(5) $6,77 - (0,83 - 0,8) \times (6,77 - 3,96) / (3 - 0,8) = 6,73 \text{ cm}^2/\text{m}$

(6) $2,01 / 6,73 = 0,298$ arrondi au cm inférieur, soit 290 mm

(7) $6,77 - (1,99 - 0,8) \times (6,77 - 3,96) / (3 - 0,8) = 5,25 \text{ cm}^2/\text{m}$

(8) palier de 1,80 m → n = 1,8/0,3 = 6 + demi-espacement de 150 mm

(9) $6,51 - (1,95 - 0,8) \times (6,51 - 1,15) / (7,2 - 3,0) = 5,04 \text{ cm}^2/\text{m}$

(10) $6,51 - (3,51 - 0,8) \times (6,51 - 1,15) / (7,2 - 3,0) = 3,05 < 3,2 \text{ cm}^2/\text{m} \% \text{ mini}$

(11) Reste = 8 – 3,13 – 3,51 = 1,36 < 3 x 0,62 = 1,86 ; 1,36 m que l'on répartit en 1x460 + 2x450 = 1360

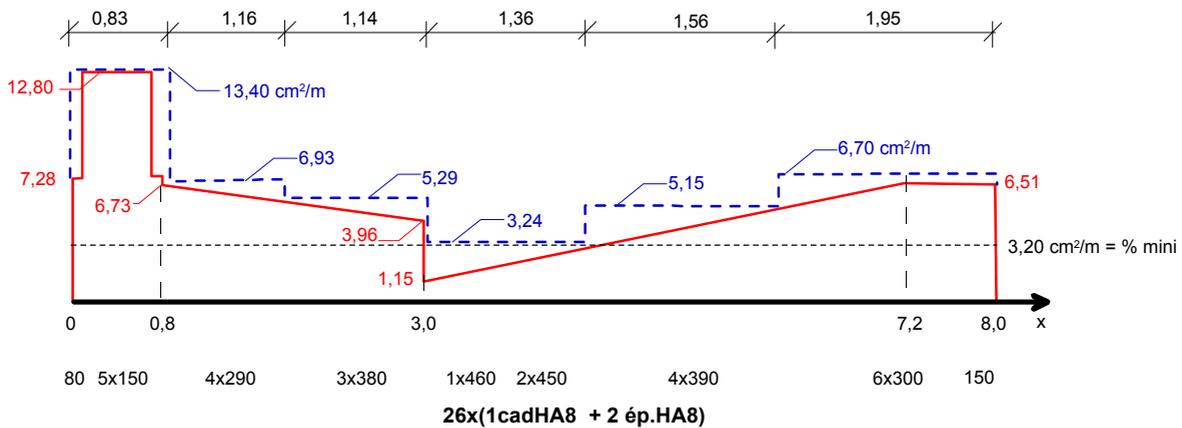


Fig. 13 – Armatures d'effort tranchant nécessaires et mises en place

Vérification de la bielle d'about : $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$

Bielle N°	effort tranchant	inclinaison	composante verticale	composante horizontale
1	V_1	$\cot\theta = 2$	$V_1 = 0,40 + 0,25 = 0,65$ MN	$X_1 = 2 \times 0,65 = 1,30$ MN
5	$V_5 = P(1 - a/L)$	$\cot\theta_5 = \frac{(a + 0,5t)}{z} = \frac{0,8 + 0,18}{0,9} = 1,089$	$V_5 = 0,36$ MN	$X_2 = 0,36 \times 1,089 = 0,392$ MN
Somme			$Y = V_1 + V_5 = 1,01$ MN	$X = 1,692$ MN

$$\cot\theta_a = \frac{X}{Y} = \frac{1,692}{1,01} = 1,675$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{(\cot\theta_a + \cot\alpha)}{1 + \cot^2\theta_a} = 0,4 \times 0,9 \times 0,6 \times (1 - 25 / 250) \times 16,7 \times \frac{1,675}{1 + 2,806} = 1,426 \text{ MN} > 1,01 \text{ MN OK}$$

Remarque 1. Application de l'article 6.2.1 (8) ?

" (8) Dans le cas des éléments soumis principalement à des charges uniformément réparties, il n'y a pas lieu d'effectuer de vérification à l'effort tranchant à une distance au nu de l'appui inférieure à d. Il convient de maintenir les armatures d'effort tranchant requises jusqu'au droit de l'appui. Il convient également de vérifier que l'effort tranchant sur appui n'excède pas $V_{Rd,max}$ (voir également 6.2.2 (6) et 6.2.3 (8))."

Dans notre cas, la charge répartie totale représente $p.L = 0,1 \times 8 = 0,8$ MN et les charges concentrées $P + Q = 0,4 + 0,4 = 0,8$ MN.

On ne peut pas dire que l'élément soit principalement soumis à des charges réparties. Donc, on ne peut appliquer cette règle, ni pour l'appui gauche, ni pour l'appui droit et l'on prend l'effort tranchant à l'abscisse 0,8d (au lieu de d) pour calculer la section d'armature d'effort tranchant à l'appui, comme on l'a montré en 4 ci-dessus.

Remarque 2. Application de l'article 6.2.3 (5) ?

" (5) Dans les régions où il n'y a pas de discontinuité de V_{Ed} (par exemple, pour un chargement uniforme), la détermination des armatures d'effort tranchant sur une longueur élémentaire $l = z (\cot\theta + \cot\alpha)$ [modifié en $l = z \cdot \cot\theta$ par le Corrigendum] peut être effectuée en utilisant la plus petite valeur de V_{Ed} sur cette longueur."

On peut appliquer cette disposition pour les régions où il n'y a pas de charge concentrée, par exemple dans la moitié droite de la travée. On peut ainsi faire une légère économie sur les quantités des armatures transversales.

depuis l'appui	$\left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{reqd}$	$s \leq 0,75d = 750$ mm	$\left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{prov}$	n	Longueur palier $\geq z \cdot \cot\theta = 1,8$ m	Longueur cumulée m
droit	5,23 ⁽¹⁾	380	5,29	5,5	2,09	2,09
	3,20 ⁽²⁾	620	3,24	5	3,10	5,19 > 5 ⁽³⁾

(1) $6,51 - (6,51 - 1,15) \times \frac{(1,8 - 0,8)}{(7,2 - 3,0)} = 5,23$ avec $z \cdot \cot\theta = 2 \times 0,9 = 1,8$ m et $2,01 / 5,23 = 0,384$ m

- (2) $6,51 - (6,51 - 1,15) \times \frac{(2,09 + 1,80 - 0,8)}{(7,2 - 3,0)} = 2,57 < 3,2 \text{ cm}^2/\text{m}$ pour le % mini
 (3) $(8 - 3 - 2,09) / 5 = 0,582 < 0,62 \text{ m}$ d'où $4 \times 580 + 1 \times 590 = 2910$

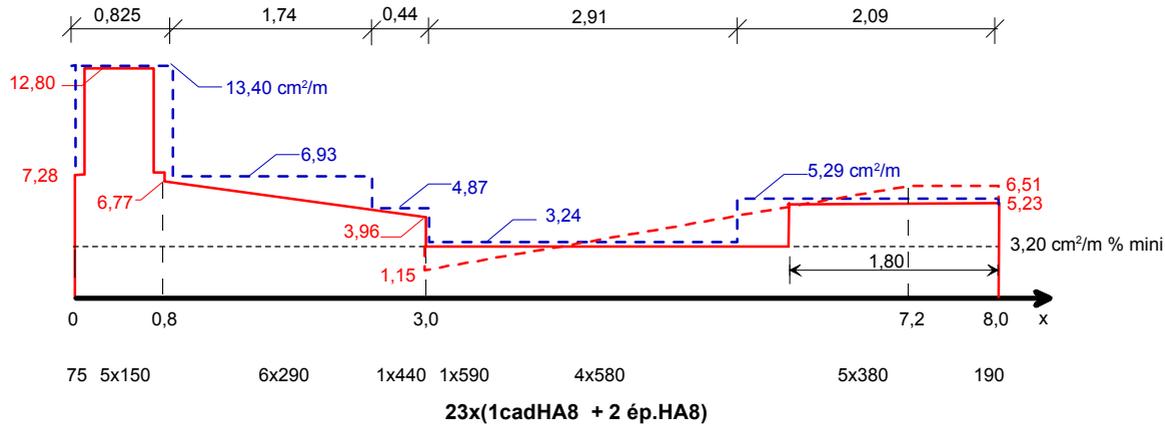


Fig. 14 – Espacements des cadres

On a besoin de 23 cours de cadres au lieu de 26, économie de 11,5 %.

Remarque 3. Une variante consiste à déterminer les armatures d'effort tranchant due à la charge concentrée hors celles qui sont entre la charge et l'appui et de calculer indépendamment ces dernières selon (6.19) :

$$A_{sw,c} = \frac{V_r}{f_{ywd} \cdot \sin \alpha} = \frac{0,126 \times 10^4}{435} = 2,90 \text{ cm}^2/\text{m}$$

à répartir sur la longueur $0,75a_v = 0,525 \text{ m}$ à partir de

l'abscisse $a_v/8 = 0,088 \text{ m}$, soit $3 \times (1\text{cad.HA6} + 2\text{ép.HA6}) = 3,43 \text{ cm}^2$ en plus des autres armatures.

Les distances au nu de l'appui de ces trois cours de cadres sont :

$$a_v/4 = 0,175 \text{ m}, \quad a_v/2 = 0,350 \text{ m} \quad \text{et} \quad 0,75a_v = 0,525 \text{ m}$$

Armatures nécessaires hors charges concentrées près appui ($A_{sw/s}$)_{rqd}

Armatures mises en place ($A_{sw/s}$)_{prov}

depuis l'appui	$\left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{rqd}$	$s \leq 0,75d = 750 \text{ mm}$	$\left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{prov}$	n	Longueur palier ⁽⁵⁾	Longueur cumulée m
gauche	7,28	270 ⁽⁸⁾	7,44 ⁽⁹⁾	4	0,945	0,16 ⁽⁷⁾ + 4×0,27 = 1,24 > 0,80
	6,21 ⁽¹⁾	320	6,28	3	0,96	2,20
	4,98 ⁽²⁾	400	5,02	2	0,8	3,0 ≥ 3,0
droit	5,23 ⁽³⁾	380	5,29	5	1,90	0,2 ⁽¹⁰⁾ + 1,90 = 2,10 > 1,80
	2,55 ⁽⁴⁾	620 → 580 ⁽⁶⁾	3,46	5 ⁽⁶⁾	8 - 3,00 - 2,10 = 2,90 m = 5 × 0,58	8,00 = L OK

(1) $6,77 - (1,24 - 0,8) \times (6,77 - 3,96) / (3 - 0,8) = 6,21 \text{ cm}^2/\text{m}$

(2) $6,77 - (2,20 - 0,8) \times (6,77 - 3,96) / (3 - 0,8) = 4,98 \text{ cm}^2/\text{m}$

(3) $z \cdot \cot \theta = 2 \times 0,9 = 1,8 \text{ m} \rightarrow 6,51 - (6,51 - 1,15) \times \frac{(1,8 - 0,8)}{(7,2 - 3,0)} = 5,23$ avec $2,01 / 5,23 = 0,384 \text{ m}$

(4) $2,10 + 1,80 = 3,90 \text{ m}$ et $6,51 - (6,51 - 1,15) \times \frac{(3,90 - 0,8)}{(7,2 - 3,0)} = 2,55 \text{ cm}^2/\text{m} < 3,2$ du % mini

(5) Il n'y a pas de condition sur la longueur du palier, ne faisant pas appel à l'article 6.2.3 (5) pour le côté gauche

(6) $n = (8 - 3 - 2,10) / 0,62 = 4,7$ arrondi à 5 et $2,59 / 0,62 = 4,2$ d'où $s = 2,90 / 5 = 0,58 \text{ m}$

(7) Ajusté à 0,16 m pour avoir un linéaire total de 8,00 m

(8) $2,01 / 7,28 = 0,276 \text{ m} \rightarrow 270 \text{ mm}$

(9) $2,01 / 0,27 = 7,44$

(10) Ajusté à 0,20 m pour avoir un linéaire total de 8,00 m

On a besoin de 20 cours de cadres HA8 + 3 cours de cadres HA6, soit une économie supplémentaire de 6 % par rapport au cas précédent de la Remarque 2.

Programme N° 132.

