

Chapitre 8. Poutres en T

8.1 Introduction

Les dalles d'un bâtiment sont souvent supportées par des poutres en béton armé.

Très souvent, lors du bétonnage de la dalle on rend dalle et poutres monolithiques. Les deux photos qui suivent montrent les armatures de la poutre qui seront recouvertes lors du bétonnage de la dalle et qui assureront la transmission de l'effort rasant à celle-ci.



La photo de gauche montre d'un côté des hourdis, et de l'autre une dalle coulée en place. Dans le cas des hourdis, on ne considère généralement pas qu'ils reprennent une compression transversale, à cause des joints entre les hourdis.

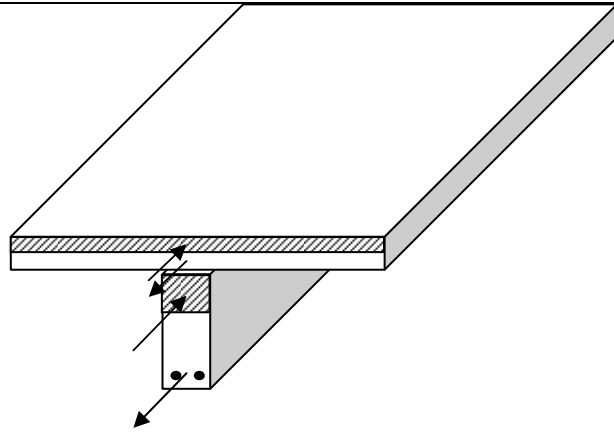
Par contre, la dalle coulée en place et supportée par la poutre reprend une partie des contraintes de compression induites par la flexion de la poutre.

Conclusion :

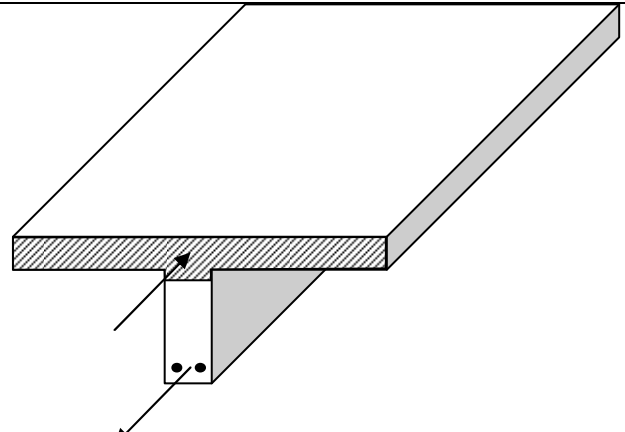
En raison du monolithisme des réalisations en B.A., les nervures et poutres de renfort de dalles ne sont pas calculées, en flexion positive, comme des poutres rectangulaires mais bien comme des poutres en T, en considérant que la dalle collabore à la flexion de la nervure en tant que semelle comprimée. La surface de compression offerte par cette dalle est très importante et permet donc un dimensionnement particulier.

8.2 Comportement d'une poutre en T

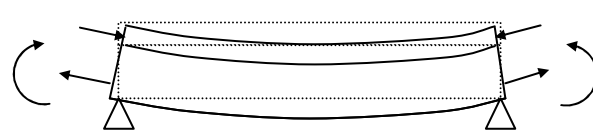
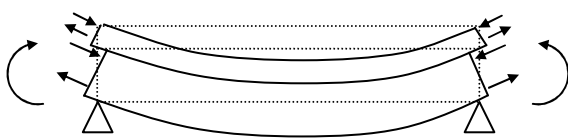
Observons la différence de comportement entre une dalle simplement posée sur une nervure, et une dalle solidaire de cette nervure :



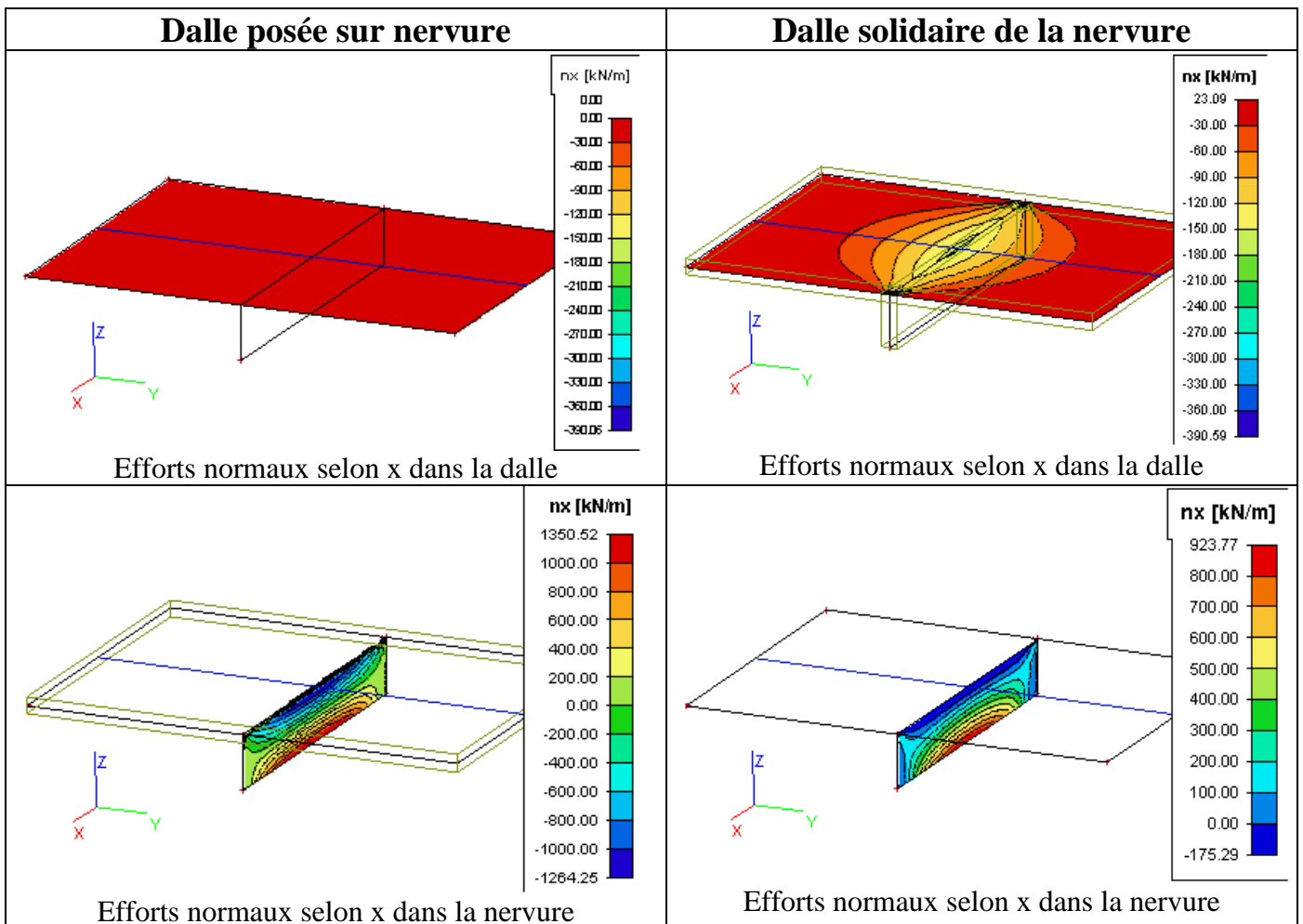
Dalle posée sur une nervure =
2 éléments rectangulaires superposés



Dalle coulée avec la nervure =
1 seul élément en "Té"

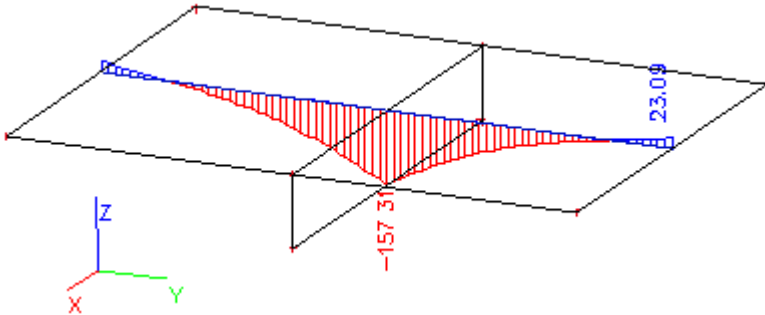


Les figures qui suivent ont été réalisées avec un programme d'éléments finis et montrent la distribution des efforts normaux longitudinaux à mi-épaisseur dans la dalle et la nervure.



On constate que lorsque la dalle est simplement posée sur la nervure et n'est pas solidaire de celle-ci, la dalle n'est pas soumise à des efforts normaux. Elle est en fait uniquement soumise à flexion, tout comme la nervure.

Lorsque la dalle est solidaire de la nervure, par contre, des efforts normaux naissent dans la dalle et on peut voir que ces efforts normaux diminuent lorsque l'on s'éloigne de la nervure (voir coupe ci-après). Cette constatation est à la base de la notion de « largeur collaborante », ou « efficace », ou encore « participante » de dalle.

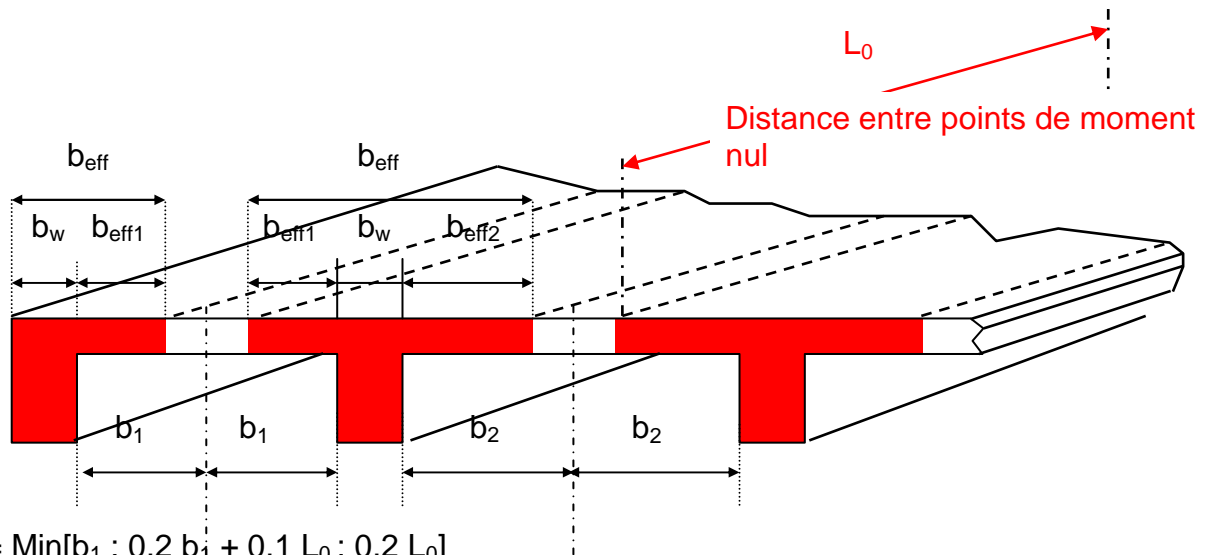


8.2.1 Largeur collaborante ou participante

La largeur de dalle participant effectivement à la flexion de la nervure n'est pas facile à déterminer. On conçoit aisément que les parties de la dalle travaillent d'autant moins qu'elles sont plus éloignées de l'axe de la poutre et que la dalle est mince vis-à-vis de la nervure.

En fait, des études ont montré que la détermination de la largeur efficace (ou collaborante, ou encore participante) b_{eff} de dalle dépendait des paramètres suivants:

- nervure isolée ou non
- système statique de l'élément (Iso- ou Hyperstatique)
- mode d'application des charges (Réparties ou Concentrées)
- rapport de l'épaisseur de la dalle à la hauteur utile de la poutre
- rapport de la longueur de l'élément entre points de moment nul à la largeur de la nervure
- rapport de la longueur de l'élément entre points de moment nul à l'écartement entre nervures
- etc



$$b_{\text{eff},1} = \text{Min}[b_1 ; 0,2 b_1 + 0,1 L_0 ; 0,2 L_0]$$

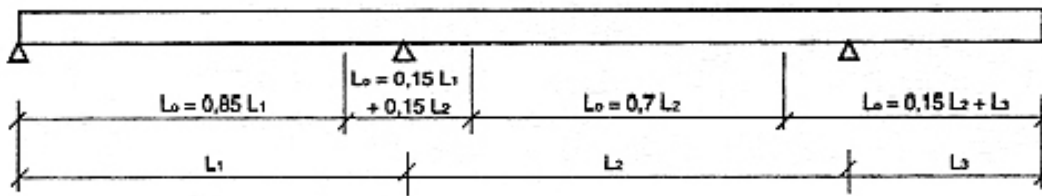
$$b_{\text{eff},2} = \text{Min}[b_2 ; 0,2 b_2 + 0,1 L_0 ; 0,2 L_0]$$

Largeur participante de la table

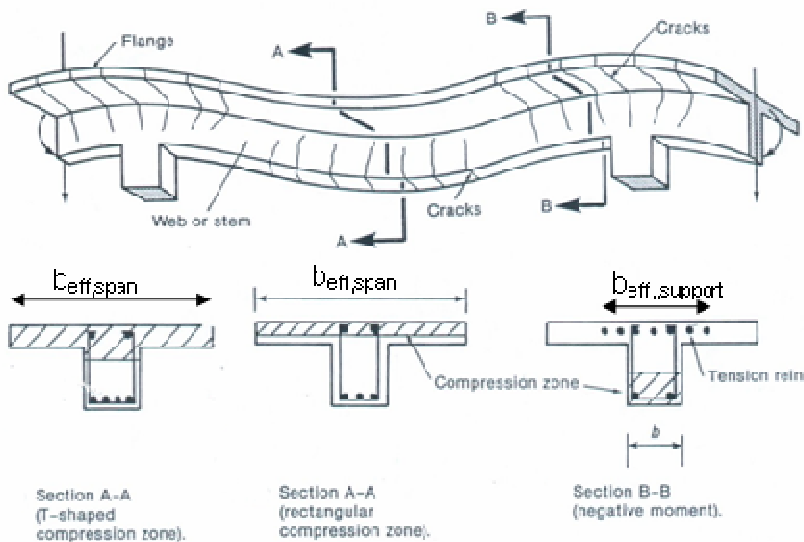
$$\text{Té} : b_{\text{eff}} = b_w + b_{\text{eff},1} + b_{\text{eff},2}$$

$$\text{L} : b_{\text{eff}} = b_w + b_{\text{eff},1}$$

Dans le cas d'une poutre continue (hyperstatique), on détermine L_0 sur la figure suivante :



Remarque : en flexion négative, la dalle est en traction, et donc ne renforce pas la poutre. La largeur efficace en flexion négative, ne servira qu'à déterminer sur quelle largeur les armatures doivent être placées.

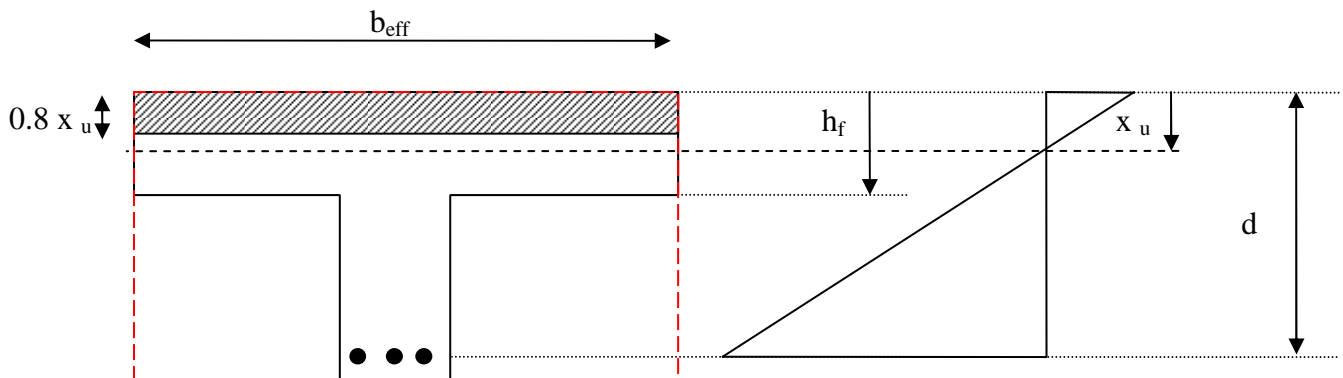


8.2.2 Calcul d'une poutre en Té en flexion positive

Le calcul des poutres en Té est basé sur les mêmes hypothèses que le calcul des poutres rectangulaires. Les figures suivantes montrent le diagramme bitriangulaire des déformations dans deux cas de figure:

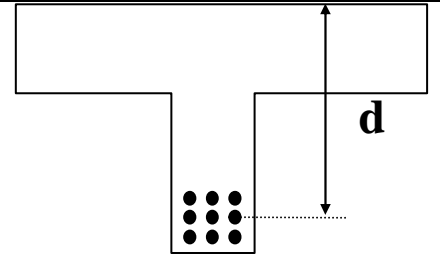
8.2.2.1 Axe neutre plastique dans la dalle

Si l'axe neutre tombe dans la dalle, comme c'est fréquemment le cas, cela revient à considérer une poutre rectangulaire de hauteur h_t et de largeur fictive b_{eff} puisque le béton en traction ne reprend aucun effort.

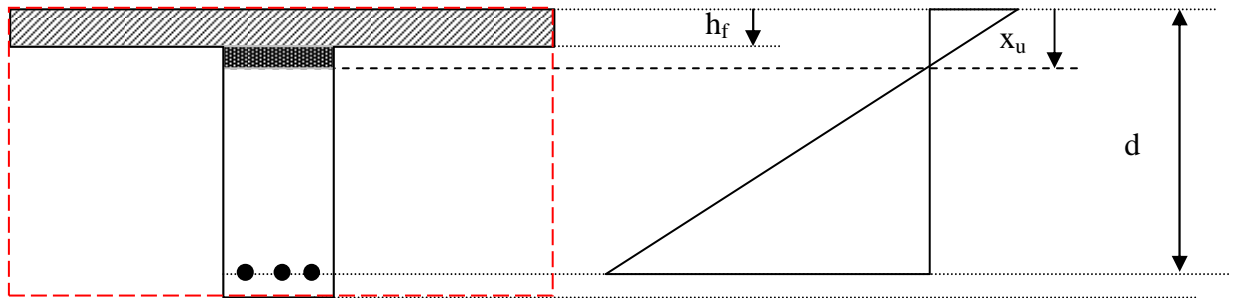


Axe neutre plastique dans la dalle: Poutre en Té calculée comme une poutre rectangulaire fictive de largeur b_{eff}

Il y a toutefois une importante conséquence d'ordre technologique dans la mesure où les armatures calculées seront disposées sur une largeur physique b au lieu de b_{eff} . Cela peut conduire à des dispositions d'armatures en plusieurs lits dont il faut tenir compte dans l'estimation de la hauteur utile d .



8.2.2.2 Axe neutre plastique dans la nervure



Axe neutre plastique dans la nervure: La zone comprimée située dans la nervure est négligée.

Si l'axe neutre se situe dans la nervure, c'est toujours à une distance faible de la jonction nervure dalle. Pour établir la formule de calcul des poutres en T, on adopte une simplification qui consiste à admettre que la zone comprimée de béton dans la nervure peut être négligée.

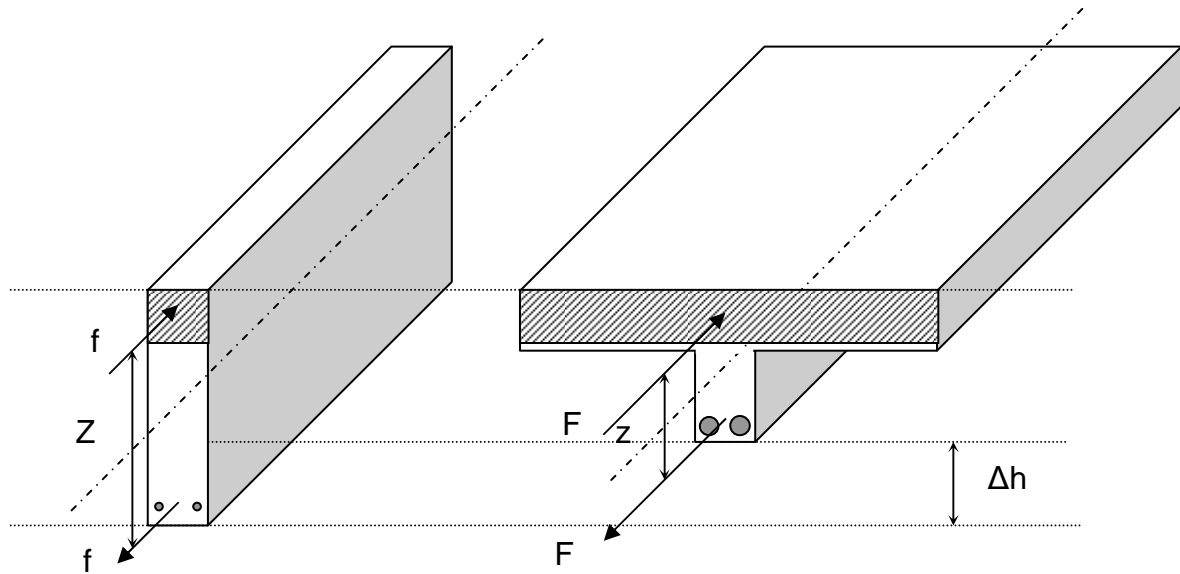
Cette hypothèse est conservatrice puisqu'elle minimise la zone réellement active. Par ailleurs, elle modifie très faiblement la réalité puisque:

- la contrainte à la jonction âme-semelle est petite
- la position de l'axe neutre est toujours proche de la jonction
- la largeur de la zone, c.à.d. la largeur b de la nervure est très faible vis-à-vis de la largeur b_{eff} de la table de compression.

Dans le cadre de ce cours, ces formules ne seront pas établies, car, très fréquemment, l'axe neutre tombe dans la dalle et par conséquent, les formules de poutres rectangulaires suffisent. On se référera à la littérature en cas de besoin particulier.

8.2.3 Effet de la poutre en T;

Si l'on compare comment un même moment de flexion est repris par les forces internes entre une poutre rectangulaire et une poutre en T, on peut, en utilisant des notations symboliques de lettres majuscules F et Z pour représenter de grandes valeurs et f et z pour les faibles valeurs, mettre en évidence l'effet de la dalle en tant que semelle de compression. **A égalité de moment de flexion, une poutre en T peut donc être moins haute.** On remarque en conséquence que les efforts internes y sont importants, ce qui, du côté de l'acier amplifie encore l'inconvénient technologique, évoqué ci-avant, de positionnement des armatures.



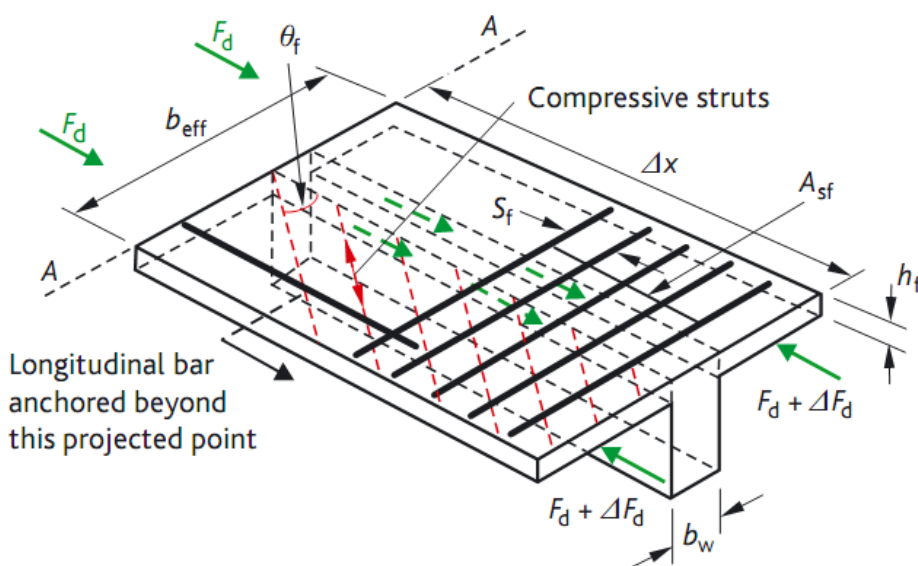
$$M = f \cdot Z = F \cdot z$$

8.2.4 Cisaillement entre l'âme et les membrures des sections en T

Le fonctionnement d'une poutre en T a aussi pour conséquence de transmettre de l'effort rasant entre la dalle (membrure) et la nervure (voir cours de RDM). Cet effort ne doit pas entraîner de rupture de la surface cisillée, donc, il peut être nécessaire de prévoir des armatures dites « de couture » entre dalle et nervure.

La résistance au cisaillement de la membrure peut être calculée en considérant la membrure comme un système de bielles de compression, associées à des tirants correspondant aux armatures tendues.

La contrainte de cisaillement longitudinale v_{Ed} , développée à la jonction entre un côté de la membrure et l'âme est déterminée par la variation d'effort normal (longitudinal) dans la partie de membrure considérée:



$$v_{Ed} = \Delta F_d / (h_f \cdot \Delta x)$$

où :

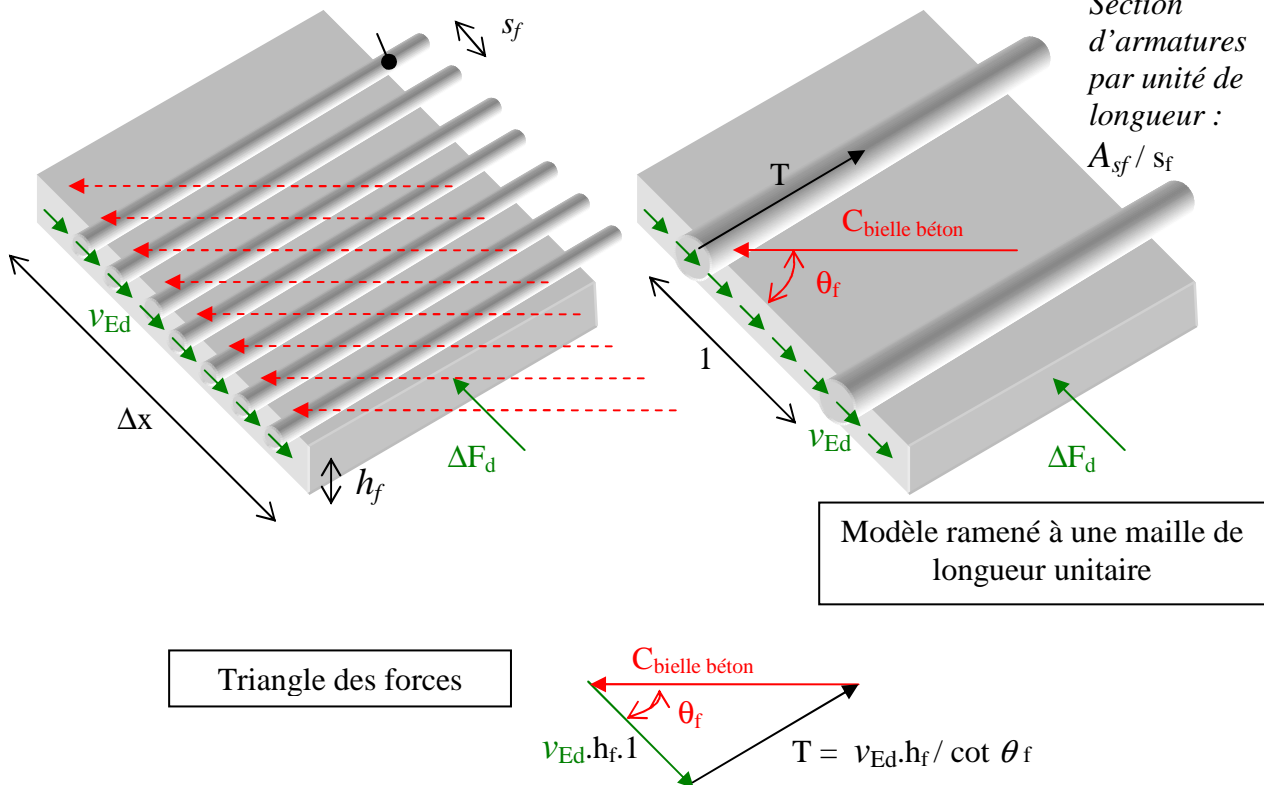
h_f est l'épaisseur de la membrure à la jonction

Δx est la longueur considérée, voir figure

ΔF_d est la variation de l'effort normal dans la membrure sur la longueur Δx

La valeur maximale que l'on peut admettre pour Δx est égale à la moitié de la distance entre la section de moment nul et la section de moment maximal. Lorsque des charges ponctuelles sont appliquées, il convient de plafonner Δx à la distance entre charges.

La figure suivante montre l'aile droite de la poutre en T de la figure précédente, et les efforts en présence. A droite, le modèle de calcul est ramené à une maille de longueur unitaire.



L'aire de la section des armatures transversales par unité de longueur, A_{sf}/s_f , doit reprendre à la ruine l'effort $T = v_{Ed} \cdot h_f / \cot \theta_f$ (voir figure précédente), donc :

$$(A_{sf} / s_f) \cdot f_{yd} \geq v_{Ed} \cdot h_f / \cot \theta_f$$

La largeur de la bielle de béton dans le modèle ramené à une longueur unitaire est : $1 \cdot \sin \theta_f$.

Afin d'éviter l'écrasement des bielles de compression dans la dalle, il convient alors de vérifier :

$$v_{Ed} \cdot h_f / \cos \theta_f \leq f_{cd} \cdot h_f \cdot \sin \theta_f, \text{ ce qui peut s'écrire : } v_{Ed} \leq 1/2 f_{cd} \cdot \sin 2\theta_f$$

avec :

θ_f respectant les limites:

$$1,0 \leq \cot \theta_f \leq 2,0 \text{ pour les membrures comprimées } (45^\circ \geq \theta_f \geq 26,5^\circ)$$

$$1,0 \leq \cot \theta_f \leq 1,25 \text{ pour les membrures tendues } (45^\circ \geq \theta_f \geq 38,6^\circ)$$

$\nu = 0.6 [1 - f_{ck}/250]$ est le coefficient de réduction de la résistance du béton fissuré à l'effort tranchant (f_{ck} en MPa).

Dans le cas où le cisaillement entre membrure et âme est combiné à la flexion transversale, il convient de prendre pour l'aire de la section des armatures la valeur A_{sf} déterminée ci-dessus, ou la moitié de celle-ci plus l'aire requise pour la flexion transversale, si l'aire ainsi obtenue est supérieure.

Si v_{Ed} est inférieure à $0.23 f_{ctm}$, aucune armature supplémentaire n'est nécessaire en plus de celles requises pour la flexion.

8.2.4.1 Dimensionnement économique des armatures de couture

Compte tenu de ce qui précède, on calcule d'abord :

$$\theta_f = \frac{1}{2} \arcsin\left(\frac{2 \cdot v_{Ed}}{v \cdot f_{cd}}\right)$$

avec :

θ_f respectant les limites:

$1,0 \leq \cot \theta_f \leq 2,0$ pour les membrures comprimées ($45^\circ \geq \theta_f \geq 26,5^\circ$)

$1,0 \leq \cot \theta_f \leq 1,25$ pour les membrures tendues ($45^\circ \geq \theta_f \geq 38,6^\circ$)

$v = 0.6 [1 - f_{ck}/250]$ est le coefficient de réduction de la résistance du béton fissuré à l'effort tranchant (f_{ck} en MPa).

On calcule ensuite la section des armatures transversales par unité de longueur par :

$$\frac{A_{sf}}{s_f} = \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot \theta_f}$$

Où s_f est l'écartement des armatures de couture.