SSLS145 - Calcul de ferraillage d'une plaque plane chargée dans son plan

Résumé :

L'objectif de ce test est de valider la macro commande COMBINAISON_FERRAILLAGE qui calcule la densité de ferraillage dimensionnante entre plusieurs cas de chargement.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On considère une plaque rectangulaire de dimensions :

- épaisseur $B=30\,cm$
- longueur $H=3\,m$
- hauteur $L=12\,m$

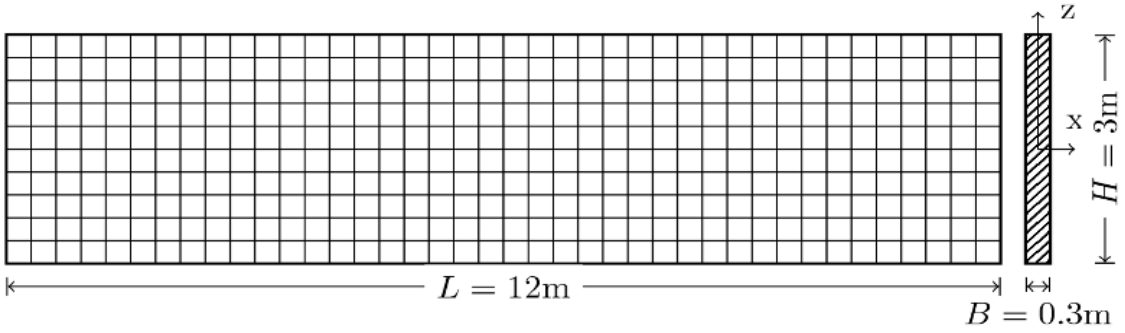


Figure 1. Géométrie de la plaque rectangulaire.

1.2 Propriétés du matériau

Le **béton** est élastique isotrope avec les propriétés matériau suivantes :

- $E=30\,000\,N/mm^2$
- $\nu=0.3$

Pour le calcul du ferraillage (à l'Eurocode 2), on considère les propriétés suivantes :

- Enrobage inférieur et supérieur $c_{inf}=c_{sup}=30\,mm$
- Résistance caractéristique à la compression du béton $f_{ck}=35\,MPa$
- Limite d'écrouissage caractéristique de l'acier $f_{yk}=450\,MPa$
- Coefficient de sécurité de l'acier à l'État Limite Ultime Fondamental $\gamma_s=1,15$
- Coefficient de sécurité du béton à l'État Limite Ultime Fondamental $\gamma_c=1,5$

1.3 Conditions aux limites et chargements

La plaque est chargée dans son plan par une force $F=1,5\cdot10^6\,N$ dans le premier cas de charge (chargement nodal « shearLd1 » dans le fichier de commande).

Un deuxième cas de charge (chargement nodal « shearLd2 » dans le fichier de commande) est obtenu en appliquant le double de cette force.

La plaque est encastrée sur le côté gauche, à l'extrémité opposée du point d'application de la force (Figure 2) ; ainsi, tous les degrés de liberté sont mis à zéro.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

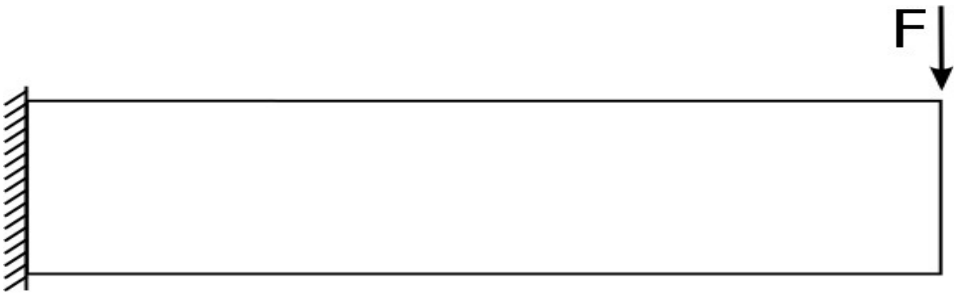


Figure 2. Blocage et chargement

1.4 Conditions initiales

La structure est initialement au repos.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

Pour les deux cas de chargement, le ferraillage est calculé avec la méthode de Capra-Maury (commande CALC_FERRAILLAGE appelée par la commande COMBINAISON_FERRAILLAGE).

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Ce système est équivalent à une poutre encastrée et chargée en flexion à l'extrémité libre :

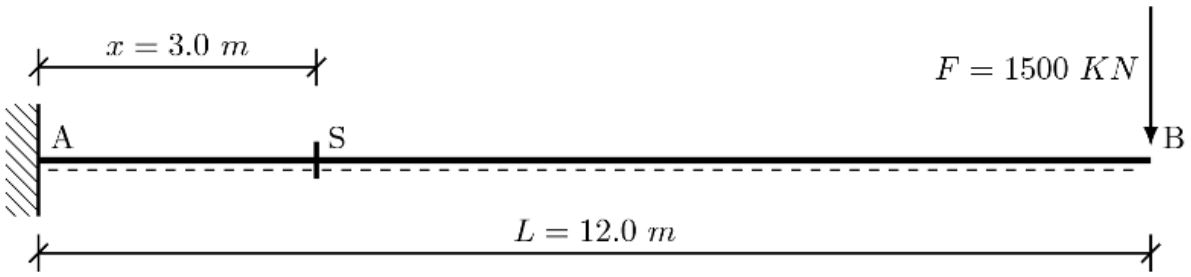


Figure 3. Représentation d'une poutre encastrée et chargée en flexion

Une première estimation des déplacements et des efforts peut donc être obtenue avec une modélisation d'Euler-Bernoulli :

- Flèche: $f = \frac{1}{3} \cdot \frac{F L^3}{E J} = 42{,}66\, mm$
- Cisaillement: $T = F = 1{,}5\, 10^6\, N$
- Moment de flexion à l'encastrement: $M = F \cdot (L - x) = 1{,}349\, 10^{10}\, N \cdot mm^2$
- Contrainte maximale à l'encastrement: $\sigma_{max} = \frac{M}{J} \cdot \frac{H}{2} = 29{,}997\, N \cdot mm^{-2}$

Pour le calcul du ferraillage et la combinaison dimensionnante, le deuxième cas ('shearLd2') de chargement étant le double du premier ('shearLd1'), c'est le deuxième qui sera toujours retenu.

2.3 Incertitudes sur la solution

La solution est analytique. Les différences entre la solution analytique et la solution de référence en non-régression sont dues au fait que la poutre est assez peu élancée (rapport H/L élevé) et on s'approche donc des limites du modèle d'Euler-Bernoulli.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise des éléments DKT.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 400 éléments de type QUAD4.

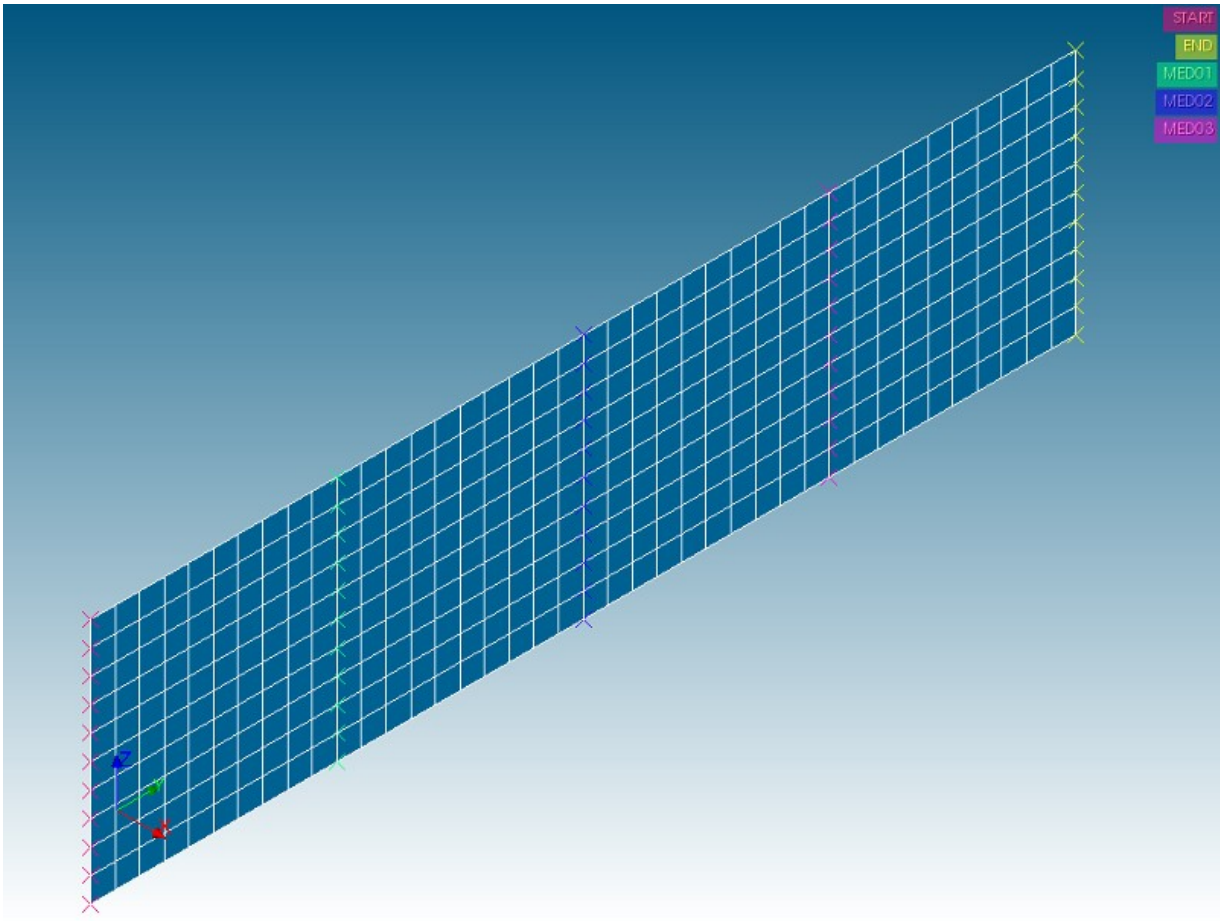


Figure 4. Maillage de la géométrie

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.3 Grandeurs testées et résultats

On teste d'abord le déplacement du point en bas droite de la plaque. Pour le deuxième cas (‘shearLd2’) les valeurs attendues sont le double par rapport au premier cas.

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
Point $N2$ - DZ Cas ‘shearLd1’	'ANALYTIQUE'	-42,66	0.04
Point $N2$ - DZ Cas ‘shearLd1’	'NON_REGRESSION'		1.E-6
Point $N2$ - $SIYY$ Cas ‘shearLd1’	'ANALYTIQUE'	29,997	0.01
Point $N2$ - $SIYY$ Cas ‘shearLd1’	'NON_REGRESSION'		1.E-6

Ensuite on teste la composante de ferraillage $DNSYS$ (densité d'armature horizontale en couche supérieure) calculée par `COMBINAISON_FERRAILLAGE` . On vérifie que la combinaison dimensionnante est bien celle qui correspond à la force maximale en termes d'armature $DNSYS$ et de numéro d'ordre.

Le repère est configuré par le mot clé `VECTEUR` , pour affecter l’axe x locale correspondant à l’axe Z globale. Pour rappel, l’axe z locale correspond à la normale de chaque maille.

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
Maille $M230$ - $DNSYS$ Cas ‘shearLd1’	'NON_REGRESSION'		1.E-6
Maille $M230$ - $DNSYS$ Cas ‘shearLd2’	'NON_REGRESSION'		1.E-6
Maille $M230$ - $DNSYS$ Cas ‘COMB_DIME_ACIER’	'NON_REGRESSION'		1.E-6
Maille $M230$ Cas ‘COMB_DIME_ORDRE’	'ANALYTIQUE'	2	1.E-6

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Synthèse des résultats

La combinaison dimensionnante correspond à celle avec la force appliquée la plus élevée (cas 2).

Pour ce calcul, les densités maximales de ferraillage sont identiques pour les deux cas de charges mais pas leur distribution.

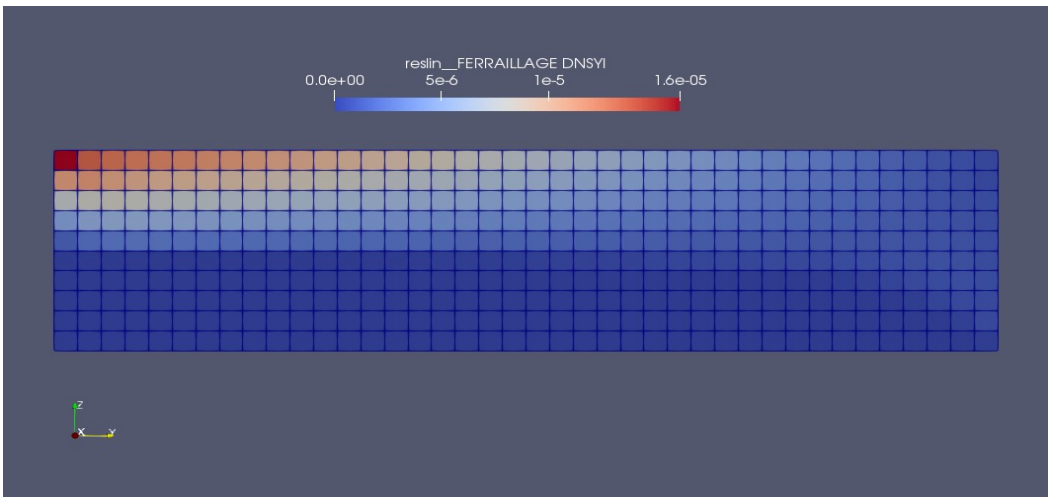


Figure 5.1 : Densité de ferraillage horizontal pour le cas de charge 1

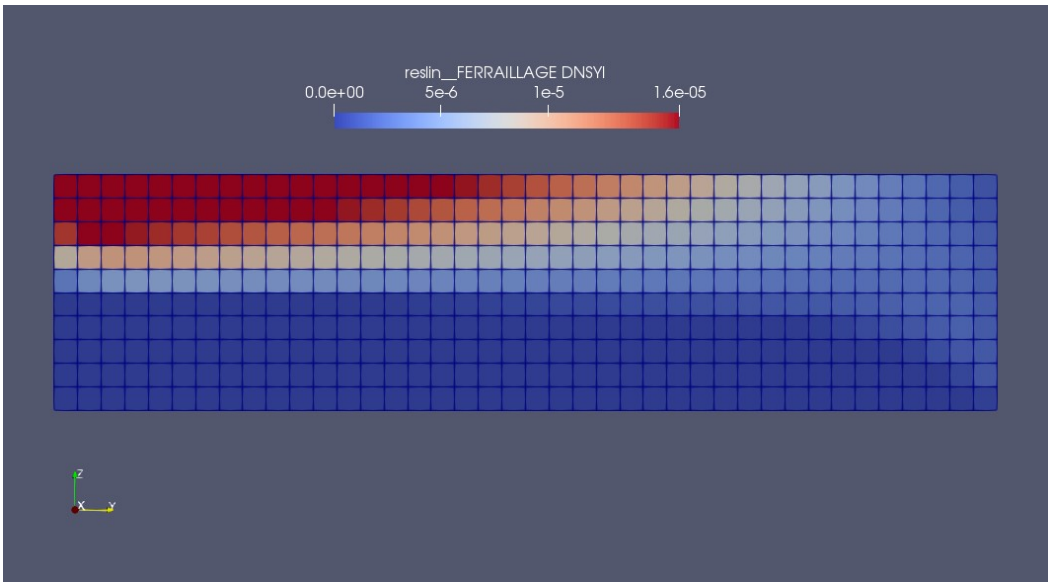


Figure 5.2 :Densité de ferraillage horizontal pour le cas de charge 2

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

La macro calcule, comme prévu, la combinaison dimensionnante (pour ce calcul, toujours le deuxième cas de chargement). Les zones où le ferraillage n'a pas pu être calculé par CALC_FERRAILLAGE (par exemple si l'armature est en compression) sont indiquées par le numéro d'ordre -1 .

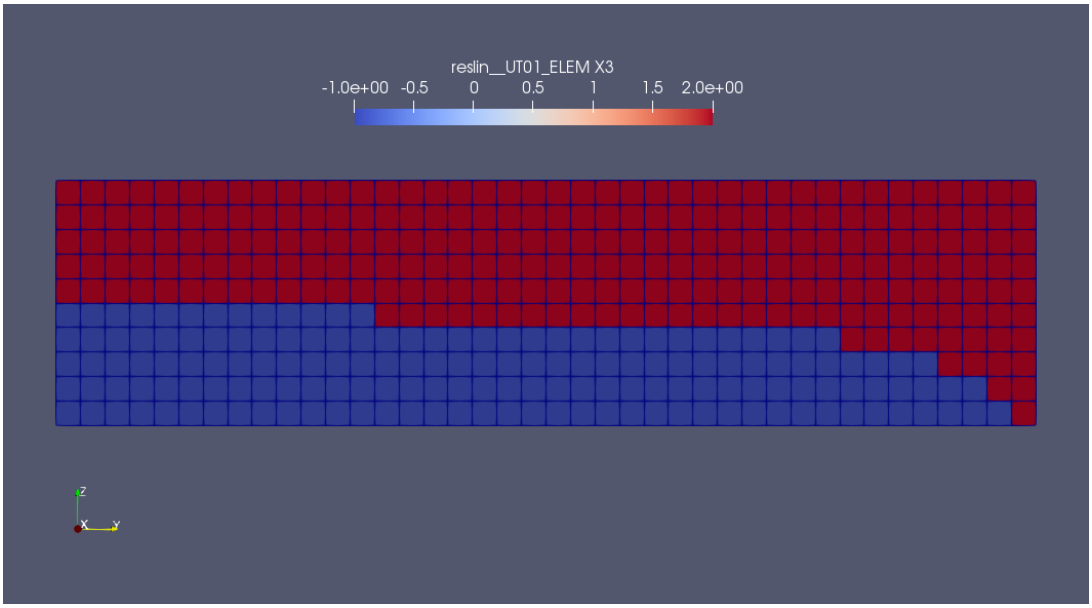


Figure 6 :: Numéro d'ordre de la combinaison dimensionnante

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)