# SSLS146 - Calcul de ferraillage sur un portique

**Résumé :**

L'objectif de ce test est de valider la macro commande COMBINAISON_FERRAILLAGE, qui permet le calcul de la densité de ferraillage dimensionnante et l'identification des cas de chargement associés. Le calcul est effectué sur un portique composé d'une dalle (plaque) reposant sur quatre poteaux.


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

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie

La structure utilisée est décrite dans ce qui suit :

- une dalle de dimensions $d_x$ = 10m et $d_y$ = 6m dans le plan (x,y), et d'épaisseur $e_z$ = 30cm.

- 4 poteaux sur lesquels repose la dalle, de 5m de hauteur, et avec une section rectangulaire de dimensions : $h_y$ = 50cm et $h_z$ = 20cm. L'axe local 'y' des poteaux coïncide avec l'axe X global de la géométrie, tandis que l'axe local 'z' coïncide avec l'axe Y global de la géométrie.

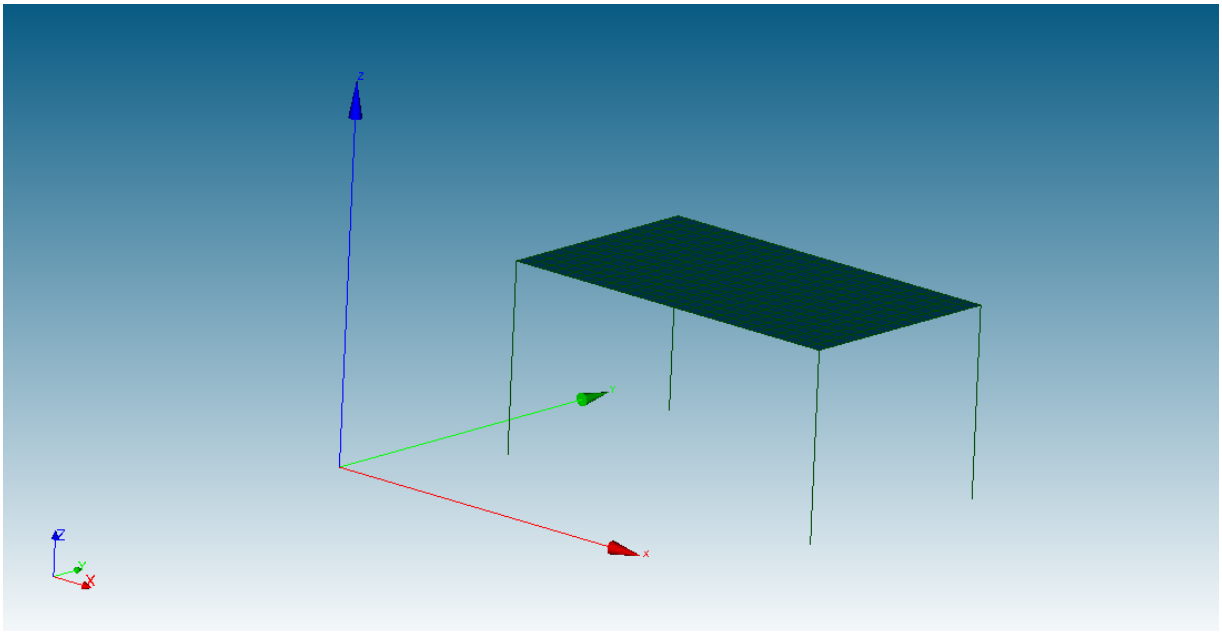


**Figure 1: Géométrie de la structure**

## 1.2 Propriétés du matériau

Le matériau est élastique isotrope dont les propriétés sont :

- $E=30000\,MPa$
- $\nu=0,3$

Pour le calcul du ferraillage (à l'Eurocode 2), on considérera le jeu de propriétés suivant pour la plaque :

- Enrobage inférieur et supérieur $c_{inf}=c_{sup}=4\,cm$
- Résistance caractéristique à la compression du béton $f_{ck}=35\,MPa$
- Limite d'écrouissage caractéristique de l'acier $f_{yk}=500\,MPa$
- Module d'Young de l'acier $E_{ys}=210000\,MPa$
- Type de diagramme ( σ - ε ) : ' B 2 '
- Coefficient de sécurité de l'acier à l'ELU Fondamental $\gamma_s=1,15$
- Coefficient de sécurité du béton à l'ELU Fondamental $\gamma_c=1,5$
- Coefficient de sécurité de l'acier à l'ELU Accidentel $\gamma_s=1$


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

- Coefficient de sécurité du béton à l'ELU Accidentel $\gamma_c = 1,2$
- Contrainte limite du béton à l'ELS Caractéristique $\sigma_{c,\lim} = 0,6 \times 35 = 21\ MPa$
- Contrainte limite de l'acier à l'ELS Caractéristique $\sigma_{s,\lim} = 0,8 \times 500 = 400\ MPa$
- Contrainte limite du béton à l'ELS Quasi Permanent $\sigma_{c,\lim,qp} = 0,45 \times 35 = 15,75\ MPa$
- Coefficient d'équivalence acier-béton à l'ELS $\alpha_E = 15,0$
- Classe de l'acier : 'B' / $\alpha_{cc} = 1,0$
- $FERR_SYME = 'NON'$ / $FERR_COMP = 'OUI'$ / $EPURE_CISA = 'NON'$ / $FERR_MIN = 'NON'$ / $UTIL_COMPR = 'NON'$
- Masse volumique de l'acier $\rho_{acier} = 7800\ kg/m^3$
- Ouverture maximale des fissures autorisée en face inférieure à l'ELS QP $w_{\max,\inf} = 0,3\ mm$
- Ouverture maximale des fissures autorisée en face supérieure à l'ELS QP $w_{\max,sup} = 0,3\ mm$
- Coefficient de durée de chargement pour le calcul à l'ELS QP $K_T = 0,4$
- Diamètre des barres suivant 'X' pour le calcul à l'ELS QP $\varphi_X = 25,0\ mm$
- Diamètre des barres suivant 'Y' pour le calcul à l'ELS QP $\varphi_Y = 25,0\ mm$

Pour l es poteaux :

- Enrobages $c_{y,inf} = c_{y,sup} = c_{z,inf} = c_{z,sup} = 4\ cm$
- Résistance caractéristique à la compression du béton $f_{ck} = 35\ MPa$
- Limite d'écrouissage caractéristique de l'acier $f_{yk} = 500\ MPa$
- Module d'Young de l'acier $E_{ys} = 210000\ MPa$
- Type de diagramme ( σ - ε ) : ' B 2 '
- Coefficient de sécurité de l'acier à l'ELU Fondamental $\gamma_s = 1,15$
- Coefficient de sécurité du béton à l'ELU Fondamental $\gamma_c = 1,5$
- Coefficient de sécurité de l'acier à l'ELU Accidentel $\gamma_s = 1$
- Coefficient de sécurité du béton à l'ELU Accidentel $\gamma_c = 1,2$
- Contrainte limite du béton à l'ELS Caractéristique $\sigma_{c,\lim} = 0,6 \times 35 = 21\ MPa$
- Contrainte limite de l'acier à l'ELS Caractéristique $\sigma_{s,\lim} = 0,8 \times 500 = 400\ MPa$
- Contrainte limite du béton à l'ELS Quasi Permanent $\sigma_{c,\lim,qp} = 0,45 \times 35 = 15,75\ MPa$
- Coefficient d'équivalence acier-béton à l'ELS $\alpha_E = 15,0$
- Classe de l'acier : 'B' / $\alpha_{cc} = 1,0$
- $FERR_SYME = 'NON'$ / $FERR_COMP = 'OUI'$ / $EPURE_CISA = 'NON'$ / $FERR_MIN = 'NON'$ / $UTIL_COMPR = 'NON'$
- Masse volumique de l'acier $\rho_{acier} = 7800\ kg/m^3$
- Ouverture maximale des fissures autorisée en face inférieure (Y et Z) à l'ELS QP $w_{\max,\inf} = 0,3\ mm$
- Ouverture maximale des fissures autorisée en face supérieure (Y et Z) à l'ELS QP $w_{\max,sup} = 0,3\ mm$
- Coefficient de durée de chargement pour le calcul à l'ELS QP $K_T = 0,4$
- Diamètre des barres suivant 'Y' pour le calcul à l'ELS QP $\varphi_Y = 25,0\ mm$
- Diamètre des barres suivant 'Z' pour le calcul à l'ELS QP $\varphi_Z = 25,0\ mm$

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

Les 4 poteaux sont encastrés en leurs bases.

On considérera par ailleurs 3 cas de chargements :


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

- Poids propre $G$ de la structure
- Une pression surfacique $P_r = 15\,000\,N$ appliquée sur la dalle
- Une force de translation horizontale suivant 'X' $F_t = 800\,000\,N$ appliquée sur les 4 poteaux

Le calcul de ferraillage sera alors mené par rapport à 7 combinaisons de ces 3 efforts, correspondant à différents états limites de calcul :

- Comb 1 - ELU FONDAMENTAL – $P_r$ dominante : $1{,}35G + 1{,}5P_r + 1{,}5 \times 0{,}6F_t$
- Comb 2 - ELU FONDAMENTAL – $F_t$ dominante : $1{,}35G + 1{,}5 \times 0{,}7P_r + 1{,}5F_t$
- Comb 3 - ELU ACCIDENTEL : $G + P_r + F_t$
- Comb 4 - ELS CARACTERISTIQUE – $P_r$ dominante : $G + P_r + 0{,}6F_t$
- Comb 5 - ELS CARACTERISTIQUE – $F_t$ dominante : $G + 0{,}7P_r + F_t$
- Comb 6 - ELS QUASI PERMANENT – $P_r$ dominante : $G + P_r + 0{,}15F_t$
- Comb 7 - ELS QUASI PERMANENT – $F_t$ dominante : $G + 0{,}3P_r + F_t$

## 1.4 Conditions initiales

La structure est initialement au repos.

# 2 Solution de référence

## 2.1 Méthode de calcul

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

Une fois le champ des efforts généralisés calculé, le champ de ferraillage est calculé conformément à la méthode de Capra Maury (pour les éléments 2D), ainsi que sur les spécifications de l'Eurocode 2 et les algorithmes de calcul proposés pour les différents états limites de calcul (ELU/ELS CARA/ELS QP).

Pour plus de compréhension, se référer aux cas tests élémentaires réservés à l'opérateur CALC_FERRAILLAGE aux niveaux des cas tests ssls134 et ssll13.

## 2.3 Incertitudes sur la solution

RAS.


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

# 3 Modélisation A

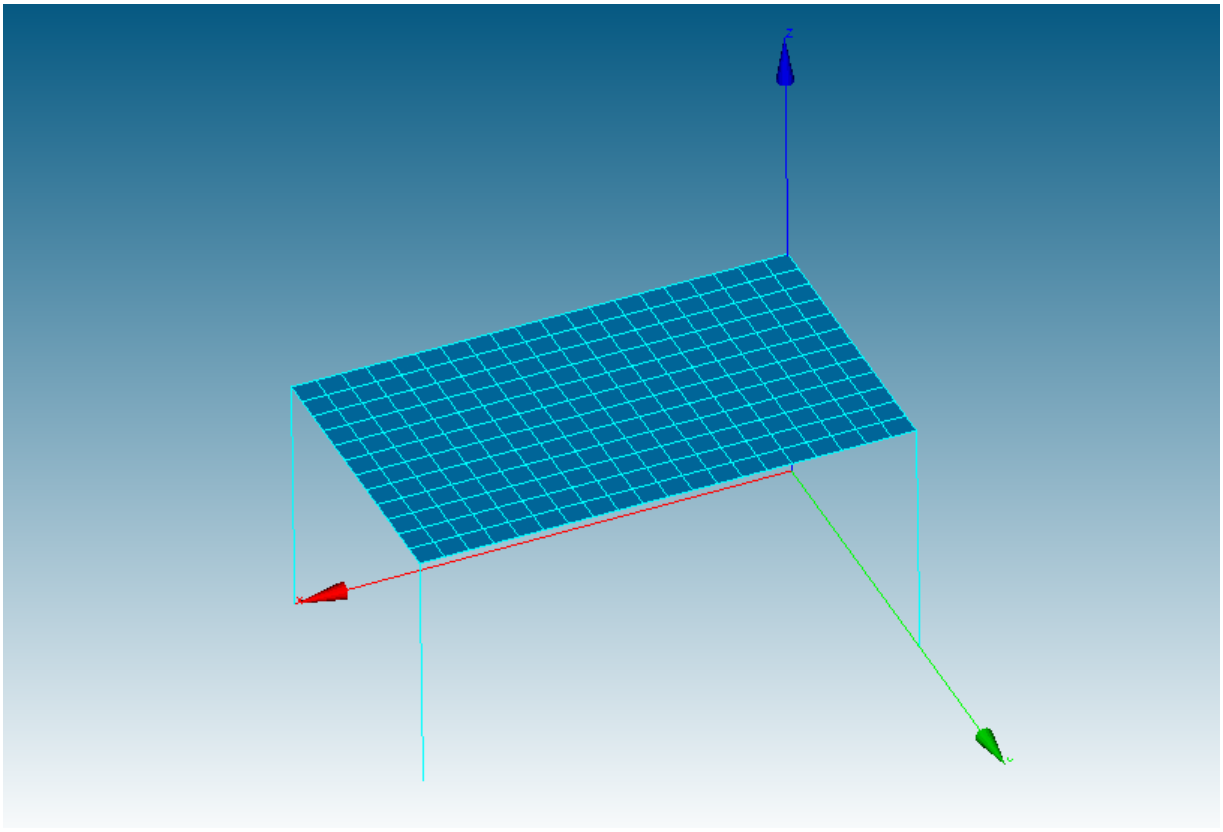
## 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Pour les éléments surfaciques, on utilise des éléments DKT.

Pour les éléments linéiques, on utilise des éléments POU_D_E (Poutres d'Euler-Bernoulli).

## 3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage utilise quadrangles pour la dalle et des segments pour les poteaux.



## 3.3 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs testées sont relatives à des mailles dans la même position (x,y) de chaque plancher aux différents étages. On propose de tester les valeurs du champ de ferraillage obtenues au niveau de deux points :

- Centre de la dalle (Point désigné par 'M')
- Appui du Poteau A (dont les coordonnées coïncident avec l'origine du repère global de l'étude)

Pour le point 'M', on propose d'évaluer, pour les différentes 7 combinaisons de calcul (ainsi que pour les deux configurations supplémentaires 'COMB_DIME_ACIER' et 'COMB_DIME_ORDRE'), la composante DNSXI du champ de ferraillage.


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

Pour le point 'A', on propose d'évaluer, pour les différentes 7 combinaisons de calcul (ainsi que pour les deux configurations supplémentaires 'COMB_DIME_ACIER' et 'COMB_DIME_ORDRE'), la composante AZI du champ de ferraillage.

| Identification | Valeur calculée (cm²) |
|---|---|
| Point $M$ - $DNSXI$ / Cas 'elu1' | 25,078 |
| Point $M$ - $DNSXI$ / Cas 'elu2' | 17,342 |
| Point $M$ - $DNSXI$ / Cas 'elu_acc' | 13,527 |
| Point $M$ - $DNSXI$ / Cas 'els1' | 19,384 |
| Point $M$ - $DNSXI$ / Cas 'els2' | 13,659 |
| Point $M$ - $DNSXI$ / Cas 'els_qp1' | 26,012 |
| Point $M$ - $DNSXI$ / Cas 'els_qp2' | 10,347 |
| Point $M$ - $DNSXI$ / Cas 'COMB_DIME_ACIER' | 26,012 |
| Point $M$ - $DNSXI$ / Cas 'COMB_DIME_ORDRE' | 6 |

| Identification | Valeur calculée (cm²) |
|---|---|
| Point $A$ - $AZI$ / Cas 'elu1' | 4,192 |
| Point $A$ - $AZI$ / Cas 'elu2' | 10,210 |
| Point $A$ - $AZI$ / Cas 'elu_acc' | 5,573 |
| Point $A$ - $AZI$ / Cas 'els1' | -1 |
| Point $A$ - $AZI$ / Cas 'els2' | -1 |
| Point $A$ - $AZI$ / Cas 'els_qp1' | -1 |
| Point $A$ - $AZI$ / Cas 'els_qp2' | -1 |
| Point $A$ - $AZI$ / Cas 'COMB_DIME_ACIER' | 10,210 |
| Point $A$ - $AZI$ / Cas 'COMB_DIME_ORDRE' | 2 |

On note en particulier pour les mesures au niveau de l'appui A du poteau, une incapacité de l'algorithme de calcul de ferraillage d'aboutir à un ferraillage de dimensionnement à l'ELS (correspondant aux valeurs '-1') . Ceci est du au fait que, le poteau étant sollicité en Flexion Déviée, la


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

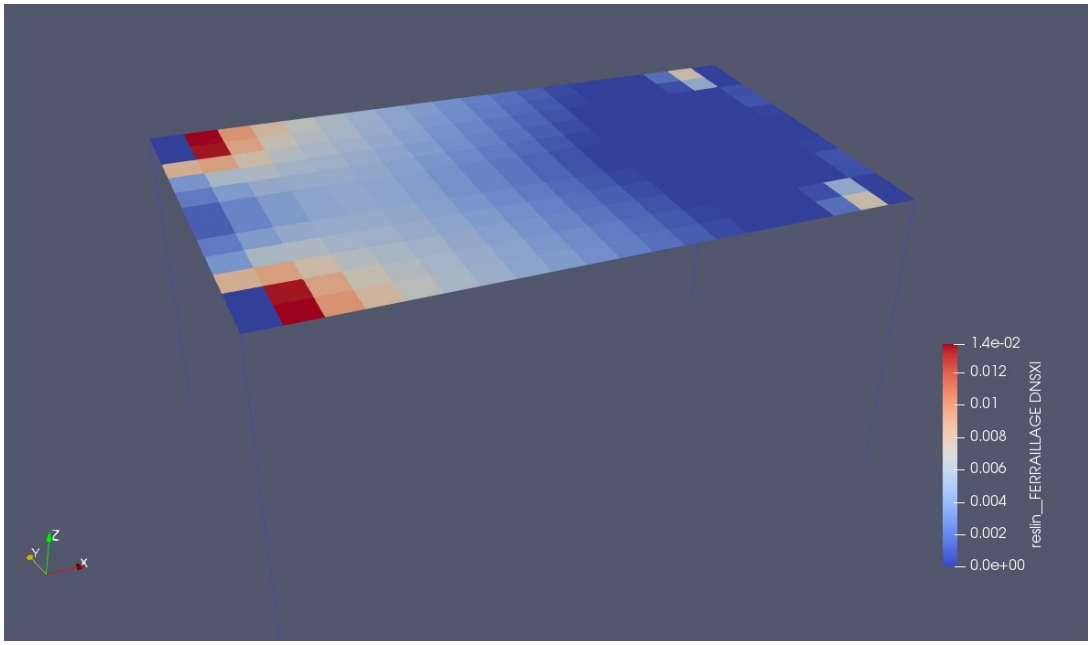
méthode actuellement implémentée est un algorithme itératif basé sur la vérification de l'inéquation de Bresler.

On est conscient qu'il s'agit d'une méthode 'simplifiée' et qui a ses limites, comme on peut s'en apercevoir au niveau des mesures ci-dessus. Une piste d'amélioration de l'opérateur de calcul de ferraillage sera d'introduire une méthode de calcul de ferraillage directe et déterministe pour le cas en flexion déviée (avec un axe neutre incliné).

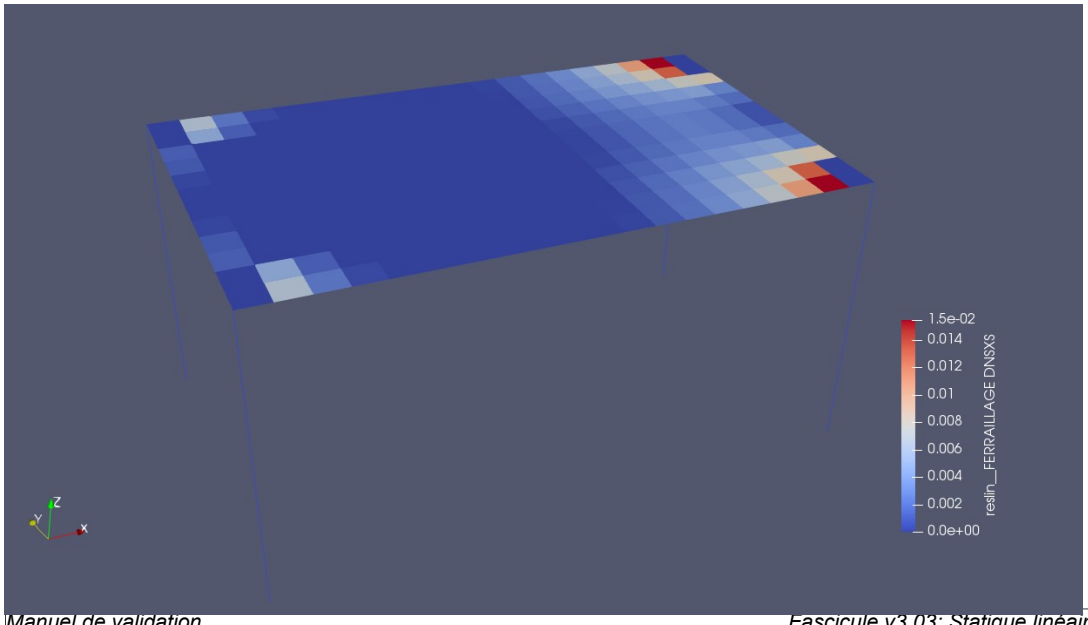
# 4 Synthèse des résultats

On donne à titre indicatif les images correspondant aux cartographies du champ de ferraillage, obtenu pour le cas 'elu_acc'.

**- DNSXI :**



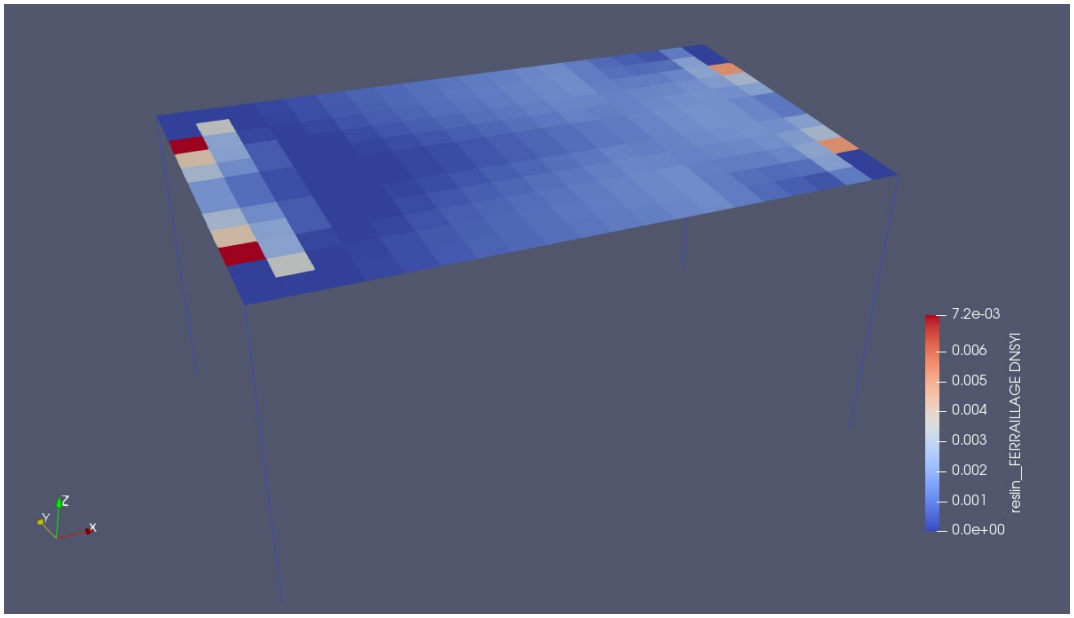

**- DNSXS :**



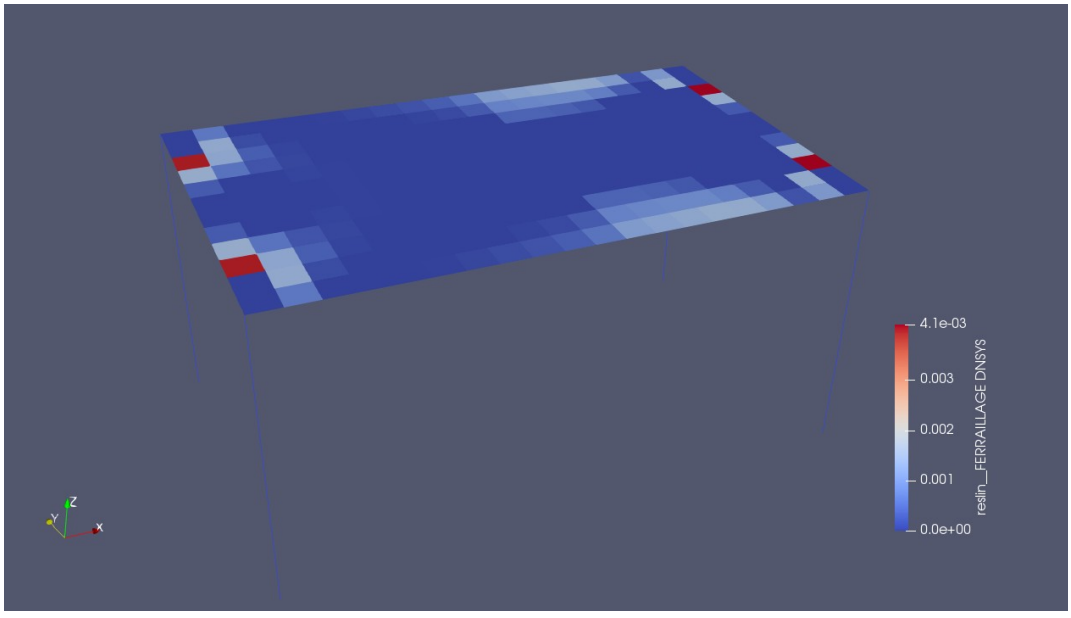


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

**- DNSYI :**



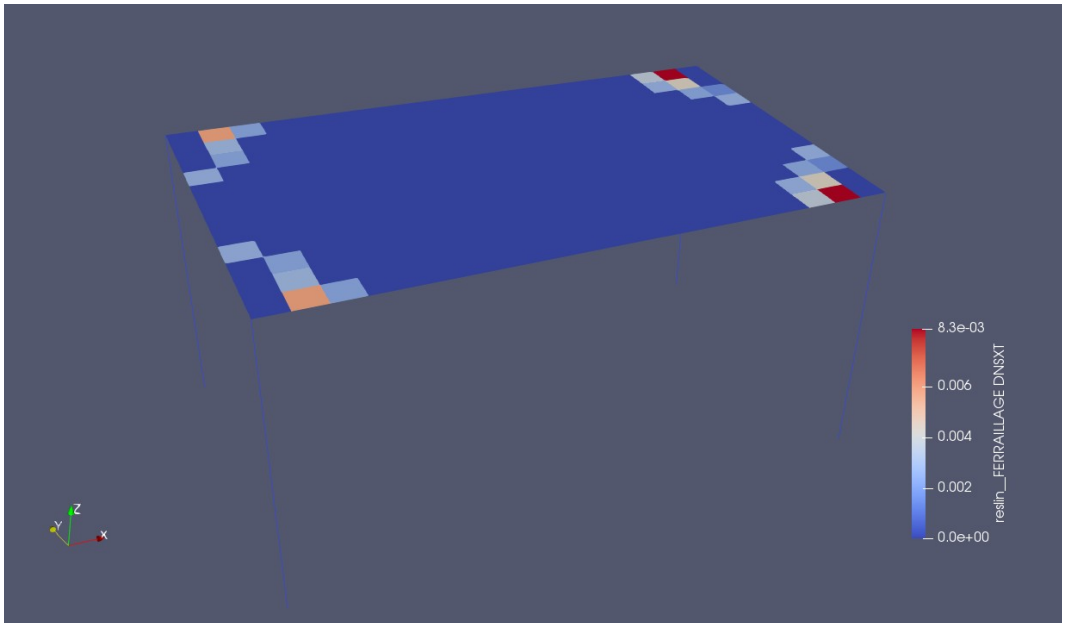

**- DNSY S :**



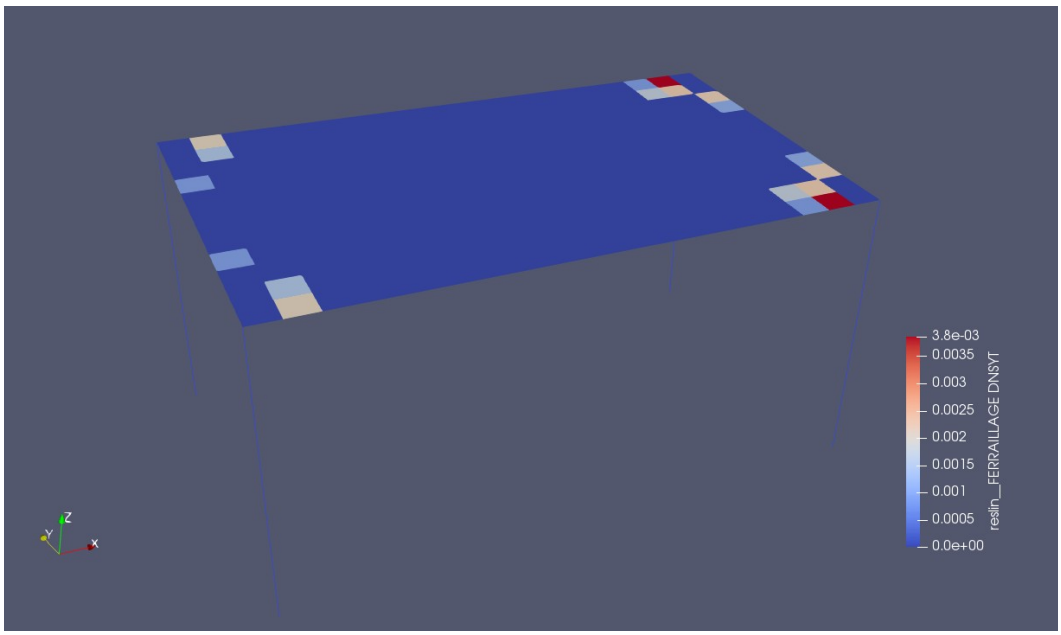


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

**- DNS XT :**



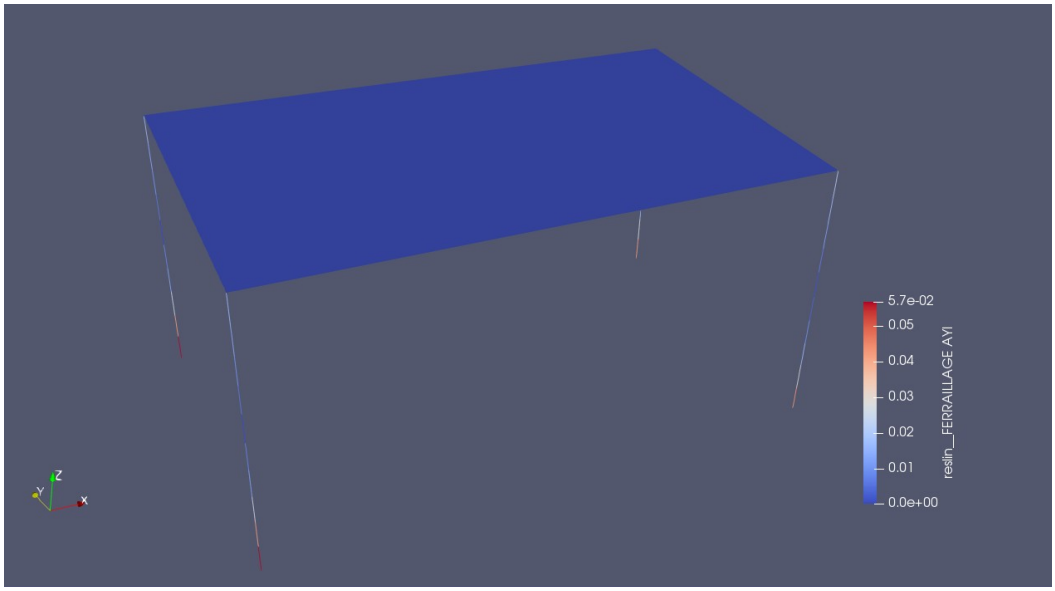

**- DNS YT :**



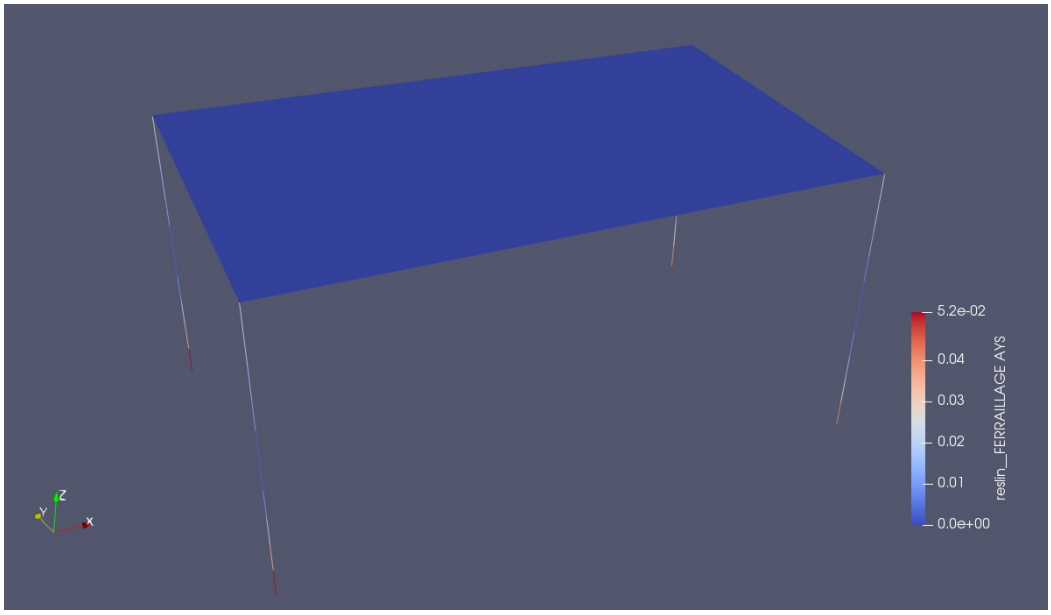


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

**- AYI :**



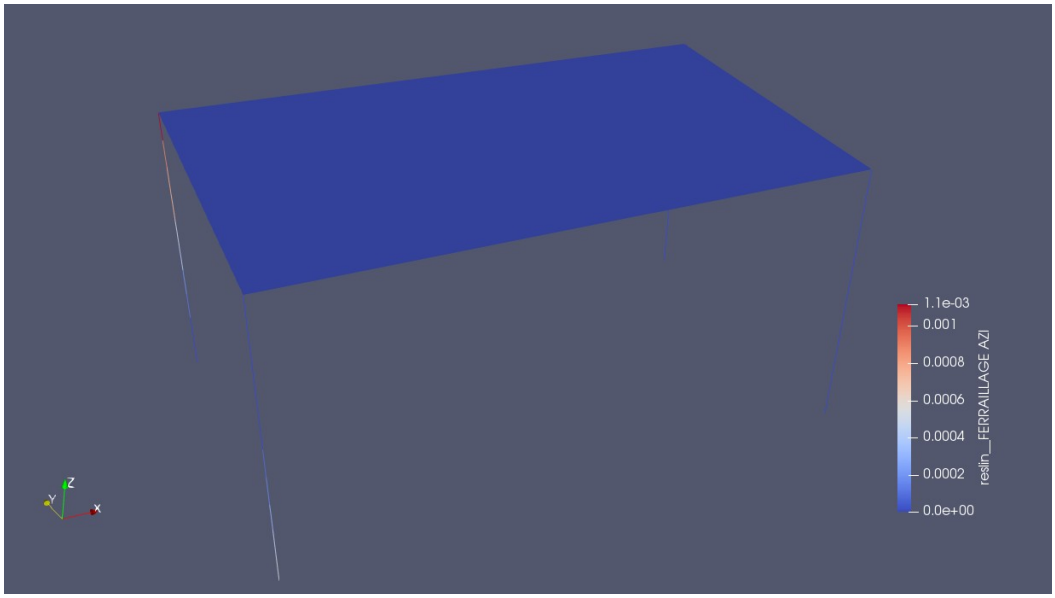

**- AY S :**



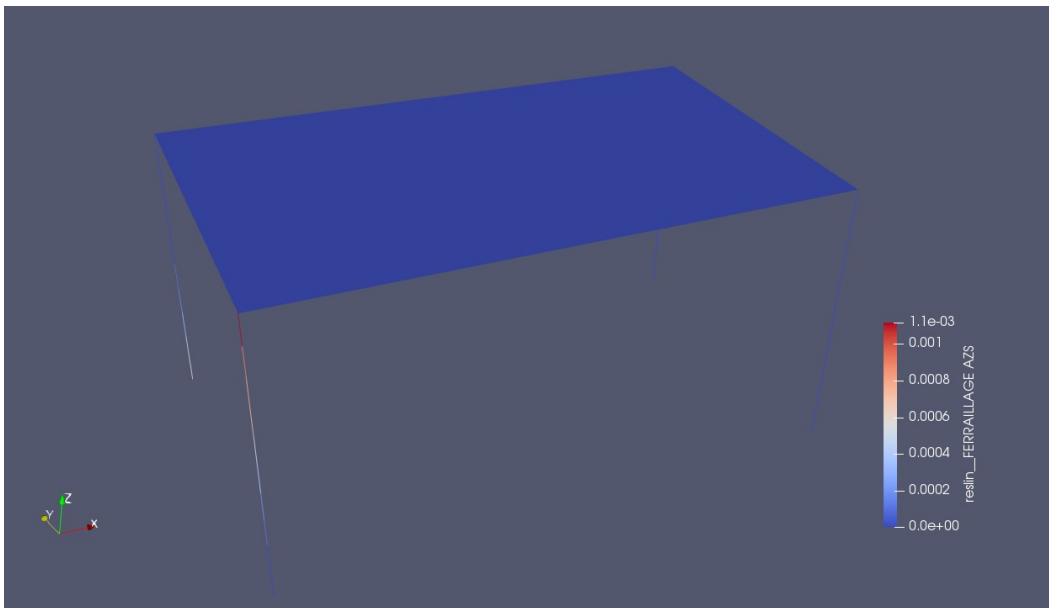


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

**- A Z I :**



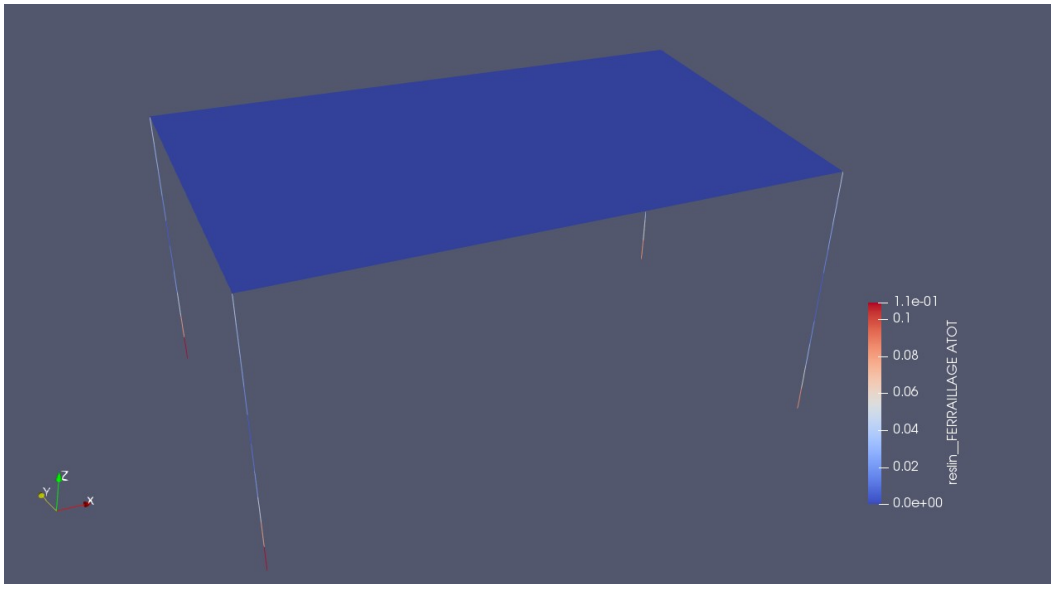

**- A ZS :**



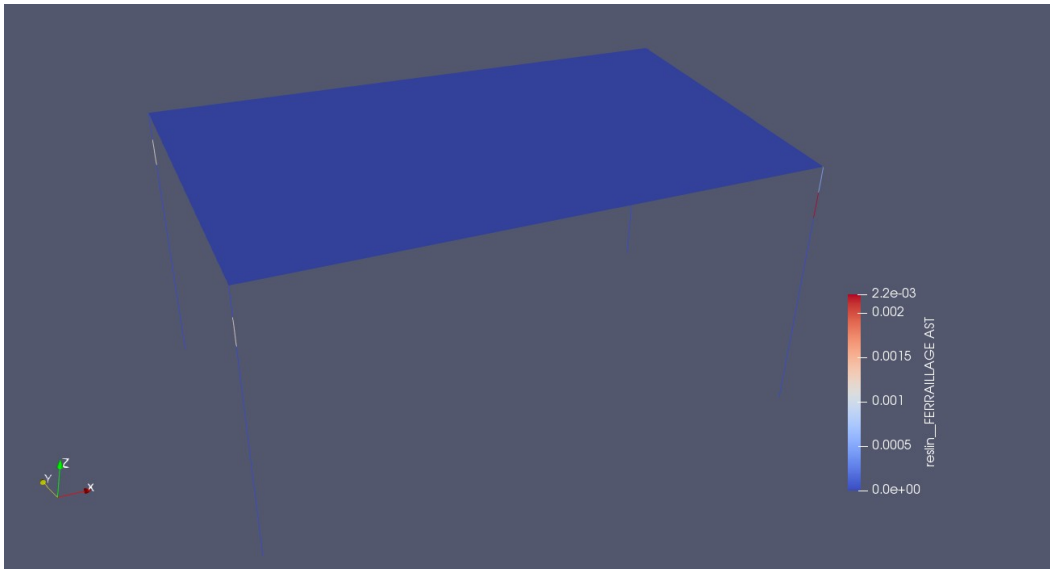


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

**- A TOT :**




**- A ST :**





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