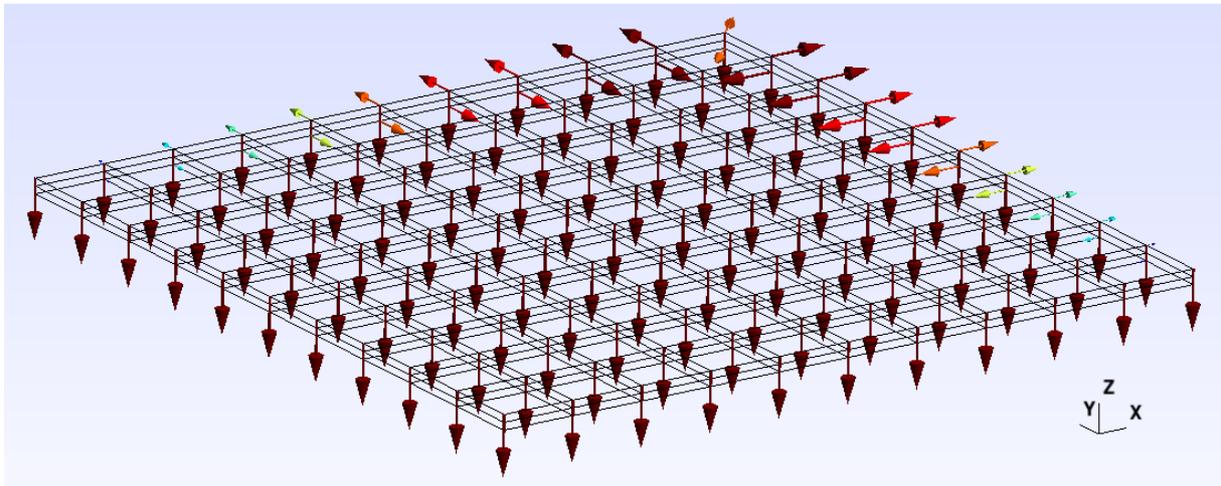


Tutoriel : Affichage des efforts

Affichage des efforts internes et externes sur $\frac{1}{4}$
d'une plaque soumise à une pression

Gaëtan ROMAN

19/05/2017



Sommaire

I)	Introduction :	3
II)	Pression ponctuelle :	3
a)	Création de la plaque :	3
b)	Calcul :	4
c)	¼ de la plaque:	10
d)	Plaque entière :	11
e)	Affichage des efforts :	12
III)	Torseurs de réactions :	14
a)	Obtention des torseurs de réactions	14
b)	Vérification des valeurs des torseurs	16
IV)	Conclusion :	21

I) Introduction :

Ce document a pour but d'expliquer comment afficher les efforts internes et externes d'un quart de plaque soumise à des efforts externes ponctuels. Nous utiliserons pour cela un effort ponctuel et des conditions de blocages permettant de simuler une plaque entière dont l'avantage est un gain de temps au niveau du calcul. Il sera possible de visualiser le déplacement du ¼ de la plaque et celle de la plaque entière mais aussi les efforts internes et externes.

Ci-joint le dossier permettant de vous aider, expliqué en fin du tutoriel.

II) Chargement ponctuelle :

Dans cette partie nous allons expliquer comment visualiser le déplacement du ¼ de la plaque mais aussi celle de la plaque entière soumise toutes deux à un chargement ponctuel.

a) Création de la plaque :

Sous stamm, lorsque vous l'exécutez dans un terminal, il est possible de créer des maillages simples comme des pièces cylindriques, des poutres, des plaques etc... Nous allons voir la procédure à suivre pour créer notre plaque de dimension : 100x100x2 (mm) voir figure 1.

```

type d'elements : (1D, 2D, 3D) ? 3D
choix lu: 3D
type de decoupage :
brique (reponse b) ? b
choix de l'interpolation :
lineaire (reponse li) ?
quadratique complet (reponse qc) ? qc
calcul de la position des noeuds :
de maniere exacte (reponse e) ?
de maniere aleatoire autour d'une position exacte (reponse a) ?
aleatoire uniquement sur les noeuds internes (reponse i) ? e
type de geometrie :
prisme rectangulaire (reponse pr) ?
cylindre creux (reponse cyl) ?
parallelogramme eleve (reponse prl) ?
portion de cylindre (reponse pcy) ?
plaque en helice (reponse phe) ?
portion de dome hemispherique (reponse p_dome) ?
anneau (reponse ann) ?
cylindre plein (reponse cyp) ?
dome hemispherique complet (reponse dome) ? pr
dimension du prisme rectangulaire: longueur x ? 100
largeur ? 100
hauteur ? 2
nombre d'element(s) dans la longueur ? 5
dans la largeur ? 5
dans la hauteur ? 1
nombre de point d'interpolation standard 8 ? (rep o ou n) n
nombre de pt possible : 8 27 64 : choix ? 27
nom du fichier de sortie ? : plaque_quad
nom lue : plaque_quad
un autre maillage ? (rep o ou n) n
=====
| fin stamm |
=====

```

On utilise des éléments 3D
 Un découpage de type brique
 Une interpolation quadratique complet : très bonne précision pour les résultats
 Le calcul de la position des nœuds se fera de manière exacte
 Notre plaque est un prisme rectangulaire
 Dimension de notre plaque
 Nombre d'élément de notre plaque
 On utilise 27 points d'intégrations
 Nom du fichier contenant le maillage en sortie

Figure 1: Plaque sous stamm

Sous `hz_visuMail.pl` il est alors possible de visualiser le maillage obtenu avec la commande suivante « `hz_visuMail.pl nomfichier.her` ». Nous obtenons cela (figure 2) :

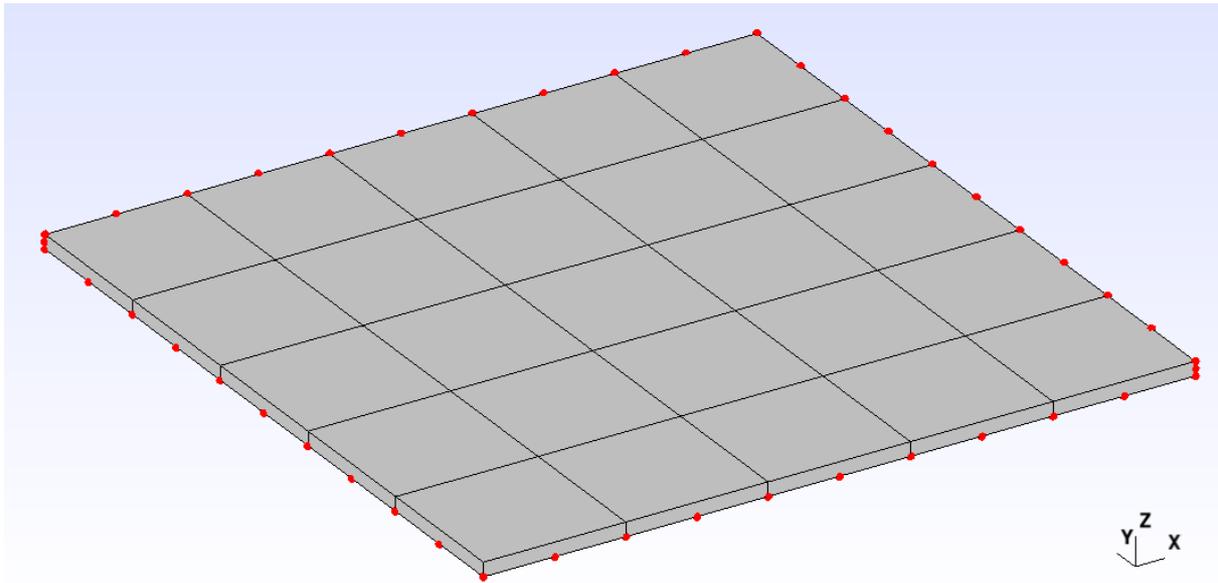


Figure 2: Maillage de la plaque

On observe bien qu'il y a 10 éléments selon la longueur et la largeur ainsi que seulement 2 selon sa hauteur. Il est possible de visualiser les nœuds, les éléments de notre maillage.

b) Calcul :

Nous allons expliquer la mise en donnée pour la mise en place de conditions de symétries pour $\frac{1}{4}$ de plaque en appui et l'ajout d'un effort de type force ponctuel. Le principe est le suivant (figure 3):

- Blocage de certains nœuds (voir figure 3)
- Application de l'effort ponctuel sur tous les nœuds de dessus

Blocage selon y pour empêcher que tous les nœuds de cette face se déplacent selon cet axe (condition de symétrie pour une plaque entière)

Blocage selon x pour empêcher que tous les nœuds de cette face se déplacent selon cet axe (condition de symétrie pour une plaque entière)

Blocage selon z pour simuler l'appui plan

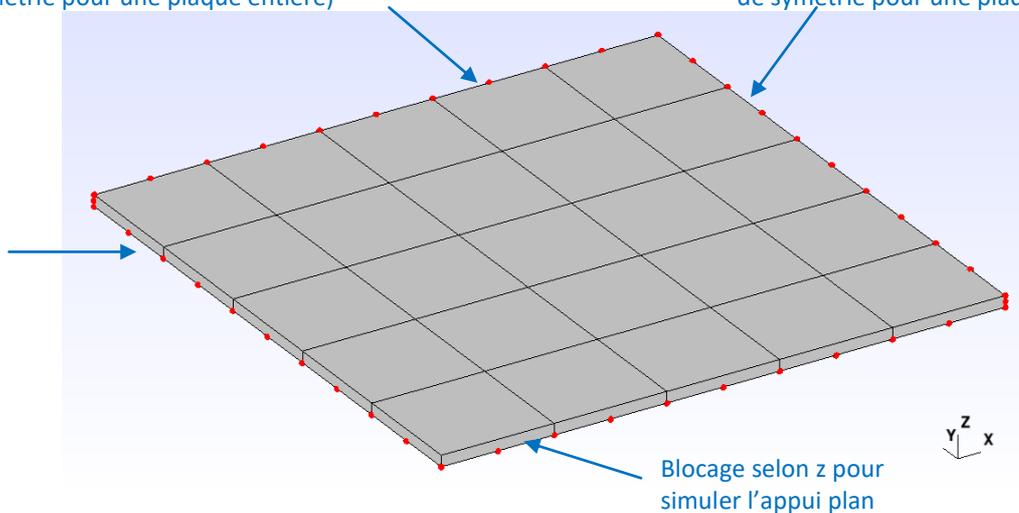


Figure 3: Schéma de principe

Explication de la mise en donnée du fichier plaque.info :

```

#-----
# definition de la dimension de l'espace de travail |
#-----
dimension 3 ← Dimension de l'espace de
                travail

#-----
# definition facultative du niveau d'impression (entre 0 et 10) |
#-----
niveau_commentaire 3 ← Niveau de commentaire
                        variable par défaut 3

#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL ← Type de calcul ici non
non_dynamique #avec plus visualisation ← dynamique
                avec plus visualisation :
                ⇒ permet de créer le fichier de sortie
                permettant la visualisation des
                résultats (fichier.Cvisu)

#-----
#| definition du (ou des) maillage(s) |
#-----

# -- def maillage ← Insertion du maillage
< plaque100x100x2.her

#=====
#| definition des lois de comportement|
#-----

        choix_materiaux -----
#-----
# Elements | Nom   Materiau |
#-----
E_tout acier ← Définition du nom du
                matériau

        materiaux #-----

#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
acier          ISOELAS
# ..... loi de comportement isoelastique 3D ..... ← Utilisation d'une loi Isoélastique 3D
# module d'young : coefficient de poisson (simple loi de Hooke, pour des éléments
210000 0.3 ← volumiques)

#----- fin def des lois de comportement -
-----

# --- divers stockages (1) -----
masse_volumique #-----#
E_tout 1 ← Ajout de la masse volumique de la plaque. Cette donnée ne sert
                pas car le calcul est non-dynamique cependant Herezh demande
                cette grandeur

charges #-----#
N_haut PONCTUELLE 0 0 -1.e1 ← Ajout de la force ponctuelle pour simuler une pression
                (la force sera appliquée sur tous les nœuds de la
                référence N_haut)

        blocages #-----#

```



```
.....maillage initiale:          mi
.....isovaleurs:                iso
.....deformee:                  de
.....choix numeros d'increment: cni
.....choix du ou des maillages a visualiser: cmv
.....visualisation :            visu
.....arret de la visualisation interactive: f
reponse ? mi ← Permet de récupérer notre maillage initial. Peut-être utile pour créer des
éléments biellettes à conditions d'avoir comme références des arrêtes etc...
----> preparation de la visualisation des coordonnees initiales
parametre par défaut ? : resultat brut du calcul elements finis ,
pas d'homotheties sur les coordonnees initiales ,
sortie des references dans un seul fichier,
--> (rep 'o') pour accepter ces parametres sinon autre
reponse ? o ← On accepte par oui
-----

.....maillage initiale:          mi
.....isovaleurs:                iso
.....deformee:                  de
.....choix numeros d'increment: cni
.....choix du ou des maillages a visualiser: cmv
.....visualisation :            visu
.....arret de la visualisation interactive: f
reponse ? de ← Permet de récupérer la déformée de notre quart de plaque
----> preparation de la visualisation des deformeemes
parametre par défaut ? : pas de limites d'alerte sur les déplacements ,
reponse ? o ← On accepte par oui
-----

.....maillage initiale:          mi
.....isovaleurs:                iso
.....deformee:                  de
.....choix numeros d'increment: cni
.....choix du ou des maillages a visualiser: cmv
.....visualisation :            visu
.....arret de la visualisation interactive: f
reponse ? iso ← Permet d'obtenir nos isovaleurs
```

```

---- isovaleurs ----
(0 ou f ou fin) fin modif
(1) ou (de) parametres par default:
(2) ou (to) toutes les isovaleurs
(3) parametres generaux pour la sortie
(4) ddl naturellement defini aux noeuds
(5) grandeurs scalaires venant des pts integ
(6) grandeurs tensoriel venant des pts integ
(7) grandeurs particulieres venant des pts integ
(8) choix de l'ancien format gms (faux par default)
(9) ddl etendu aux noeuds
(10) grandeurs evoluees aux noeuds

reponse ? 5 ← Dans un premier temps, on récupère nos grandeurs venant des points
d'intégrations

choix d'isovaleur (grandeurs scalaires) venant des pts d'integ a visualiser
listes de type de ddl a visualiser
Maillage nb: 1 liste des types de ddl disponibles

debut_List_I0= (taille= 78 ) SIG11 SIG22 SIG33 SIG12 SIG23 SIG13 EPS11
EPS22 EPS33 EPS12 EPS23 EPS13 DEPS11 DEPS22 DEPS33 DEPS12 DEPS23 DEPS1
3 Green-Lagrange11 Green-Lagrange22 Green-Lagrange33 Green-Lagrange12 Green
-Lagrange23 Green-Lagrange13 Almansi11 Almansi22 Almansi33 Almansi12 Almans
i23 Almansi13 logarithmique11 logarithmique22 logarithmique33 logarithmiqu
e12 logarithmique23 logarithmique13 Cauchy_local11 Cauchy_local22 Cauchy_lo
cal33 Cauchy_local12 Cauchy_local23 Cauchy_local13 Almansi_local11 Almansi_
local22 Almansi_local33 Almansi_local12 Almansi_local23 Almansi_local13 Def
_principaleI Def_principaleII Def_principaleIII Sigma_principaleI Sigma prin
cipaleII Sigma_principaleIII Vit_principaleI Vit_principaleII Vit_principale
III Delta_def11 Delta_def22 Delta_def33 Delta_def12 Delta_def13 Delta_def2
3 Spherique_eps Q_eps Cos3phi_eps Spherique_sig Q_sig Cos3phi_sig contrai
nte_mises contrainte_tresca def_duale_mises def_equivalente def_duale_mises_
maxi vitesse_def_equivalente energie_elastique dissipation_plastique dissipa
tion_visqueuse

Maillage nb: 1 liste des types de ddl enregistres

debut_List_I0= (taille= 1 ) contrainte_mises

donner le ddl a visulaliser
(to) tous les ddl
(une liste de ddl)
(ef) pour effacer la liste
(ef1) effacer un ddl de la liste
(0 ou f ou fin) fin choix ddl
reponse ? contrainte_mises def_duale_mises ←

```

Puis on visualise par exemple notre
contrainte de mises et nos déformations
de mises

```
(to) tous les ddl
(une liste de ddl)
(ef)          pour effacer la liste
(ef1)        effacer un ddl de la liste
(0 ou f ou fin) fin choix ddl
reponse ? f ← On sélectionne fin

(0 ou f ou fin) fin modif
(1) ou (de) parametres par default:
(2) ou (to) toutes les isovaleurs
(3) parametres generaux pour la sortie
(4) ddl naturellement defini aux noeuds
(5) grandeurs scalaires venant des pts integ
(6) grandeurs tensoriel venant des pts integ
(7) grandeurs particulieres venant des pts integ
(8) choix de l'ancien format gms (faux par default)
(9) ddl etendu aux noeuds
(10) grandeurs evoluees aux noeuds

reponse ? 10 ← Pour récupérer nos efforts internes et externes il faut récupérer les
grandeurs évoluant aux nœuds par 10

choix d'isovaleur (grandeurs evoluees) defini aux noeuds, a visualiser
(0 ou f ou fin) fin choix grandeurs evoluees
listes de type de grandeur evoluees a visualiser
Maillage nb: 1
liste des types de grandeurs enregistres:  FORCE_GENE_EXT FORCE_GENE_INT

Maillage nb: 1 liste des types de grandeurs evoluees disponibles
FORCE_GENE_EXT
FORCE_GENE_INT
VECT_PRESSION
VECT_FORCE_VOLUM
VECT_DIR_FIXE
VECT_SURF_SUIV
VECT_HYDRODYNA_Fn
VECT_HYDRODYNA_Ft
VECT_HYDRODYNA_T
VECT_LINE
VECT_LINE_SUIV
VECT_REAC_N
donner la grandeur a visualiser
(to) toutes les grandeurs
(de) les grandeurs par default
(une liste de grandeurs evoluees)
(ef)          pour effacer la liste
(0 ou f ou fin) fin choix grandeur tensorielle
reponse ?  FORCE_GENE_EXT FORCE_GENE_INT ← On sélectionne cela
```

```

===== fin du module de visualisation format Gmsh =====
Appuyer sur f, jusqu'à obtenir ce menu :
===== choix du module de visualisation interactive =====
sauvegarde des commandes de visualisation          ? (rep 1)
visualisation automatique                          ? (rep 2)
visualisation au format vrml ?                    (rep 3)
visualisation par fichier de points, format maple ? (rep 4)
visualisation au format geomview                   ? (rep 5)
visualisation au format Gid                        ? (rep 6)
changement de fichier de commande .CVisu          ? (rep 7)
visualisation au format Gmsh                      ? (rep 8)
nom grandeurs actuelles accessibles globalement ? (rep 9)
fin                                                (rep 0 ou f)
reponse ? 1 ← On sauvegarde notre fichier.Cvisu

===== choix du module de visualisation interactive =====
sauvegarde des commandes de visualisation          ? (rep 1)
visualisation automatique                          ? (rep 2)
visualisation au format vrml ?                    (rep 3)
visualisation par fichier de points, format maple ? (rep 4)
visualisation au format geomview                   ? (rep 5)
visualisation au format Gid                        ? (rep 6)
changement de fichier de commande .CVisu          ? (rep 7)
visualisation au format Gmsh                      ? (rep 8)
nom grandeurs actuelles accessibles globalement ? (rep 9)
fin                                                (rep 0 ou f)
reponse ? f ← On quitte Herezh. Il suffit de relancer le calcul pour ainsi obtenir nos
différents résultats sélectionnés

temps_user:0/00:00:02.54 system:0/00:00:00.10 reel:0/00:01:43.56

=====
|                               fin HEREZH++                               |
=====

```

c) ¼ de la plaque:

Nous allons visualiser le résultat obtenu grâce à la mise en donnée précédente. Pour cela il suffit d'ouvrir le fichier « plaque_deplace_Gmsh.pos » avec gmsh. Puis faire quelques modification dans les options comme ci-contre (figure 4):

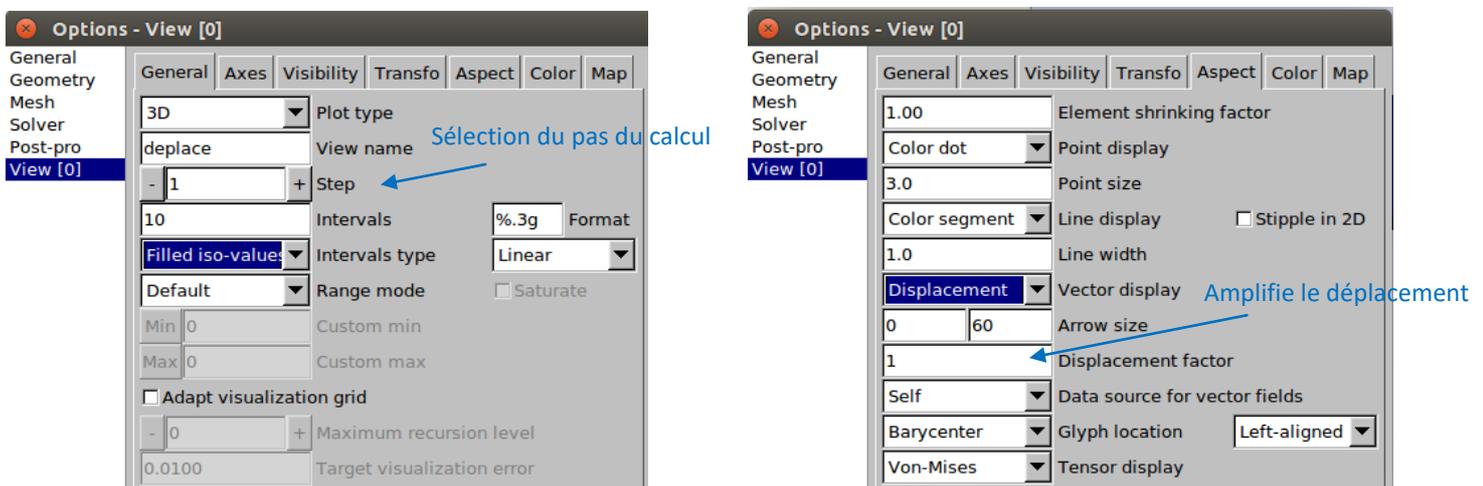


Figure 4: Réglages option

Ces modifications permet de visualiser notre déformée comme suit (figure 5):

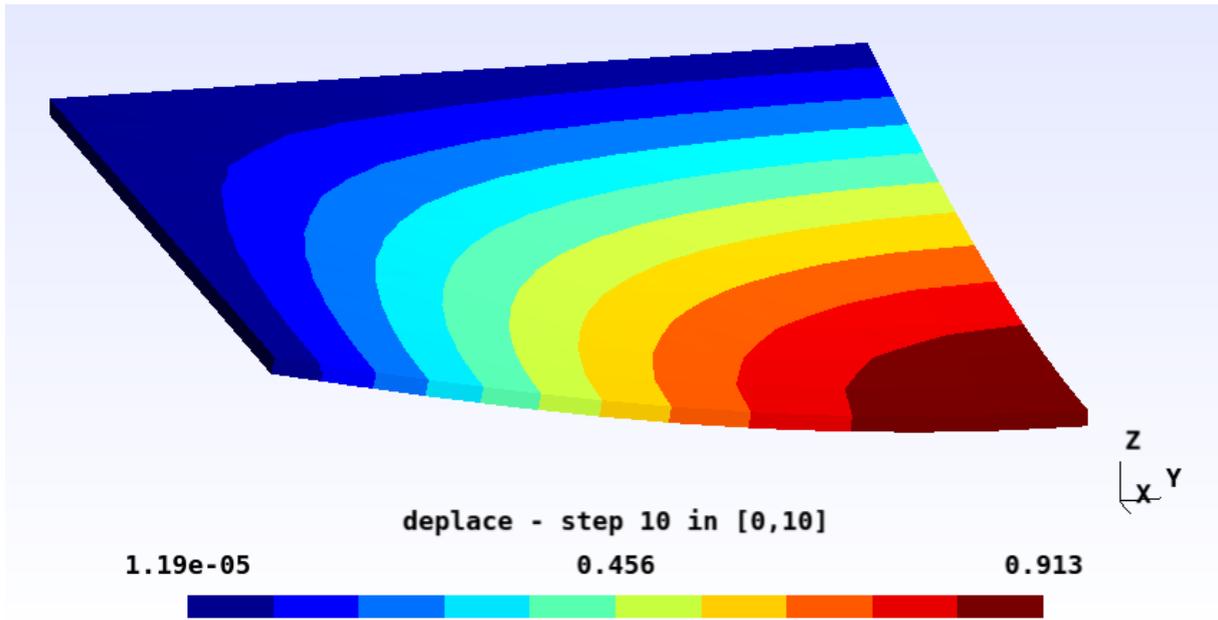
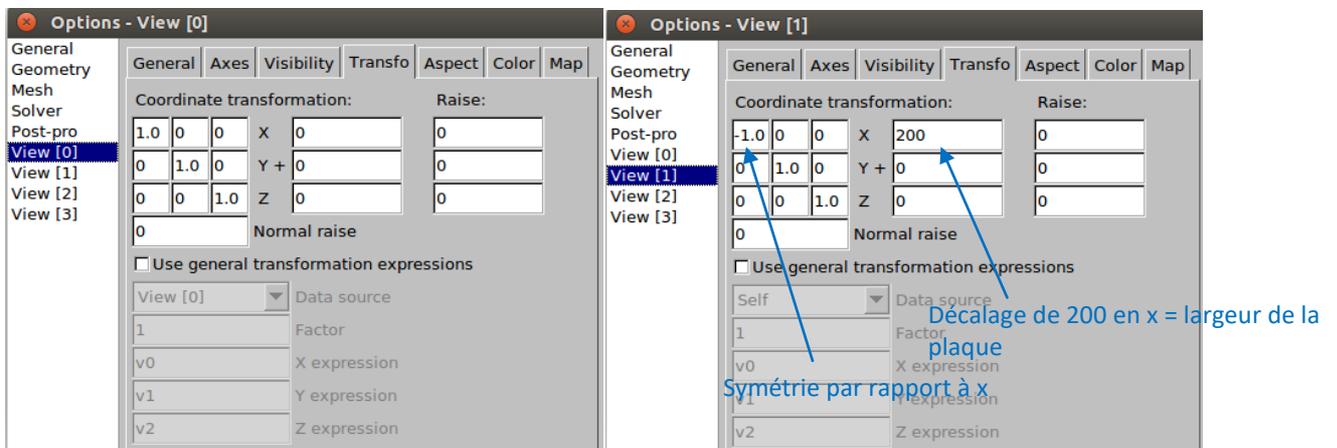


Figure 5: 1/4 plaque sollicitée en pression

Voici la simulation pour le quart de plaque donc celui-ci se déplace au maximum de 0,913 mm au centre. On constate bien que sur les côtés la plaque est en appuie puis grâce aux conditions de symétries cela reproduit le comportement réel d'une plaque entière. Cela est très utile d'utiliser les conditions de symétries lors d'un calcul pour augmenter sa rapidité et diminuer la taille en mémoire.

d) Plaque entière :

Pour reproduire la simulation de la plaque entière sous gmsch à l'aide du ¼ de la plaque précédente il suffit d'effectuer les manipulations suivantes. Dans un premier temps ouvrir 4 fois le même fichier « plaque_deplace_Gmsh.pos » avec gmsh. Ensuite paramétrer les réglages suivant :



Même méthode pour les deux autres vues

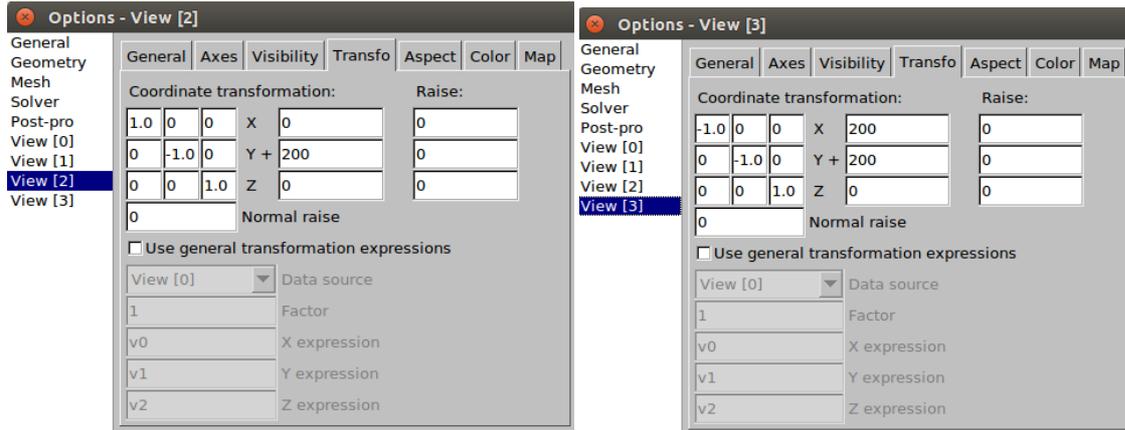


Figure 6: Réglages options pour le positionnement des vues

Cela nous permet de positionner nos différentes vues dans l'espace pour reproduire notre plaque entière. Ensuite, il est important de vérifier que chacune des vues possède les mêmes paramètres lors de la figure 4 (même step, même déplacement factor). Ainsi nous devons obtenir cela :

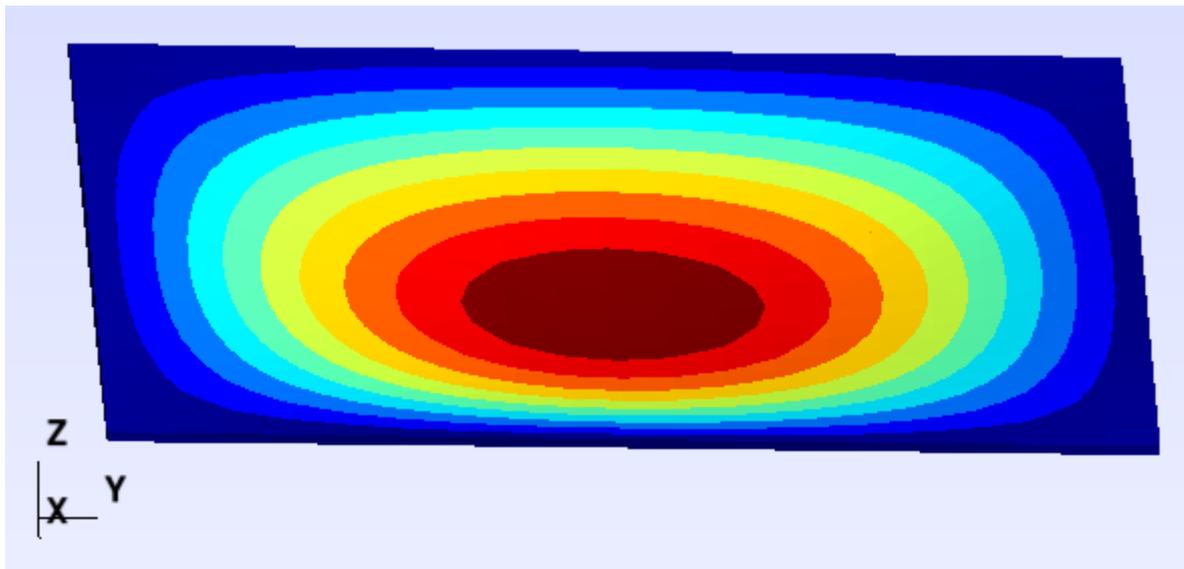


Figure 7: Plaque entière

e) Affichage des efforts :

Nous allons afficher les efforts externes et internes. Cela nous permettra de savoir si notre mise en donnée est bonne. En effet on peut visualiser le sens des efforts, leur intensité donc savoir si nous nous sommes trompés ou non. Pour cela il faut sous gmsh ouvrir les 2 fichiers suivant « FORCE_GENE_INT_Gmsh.pos et FORCE_GENE_EXT_Gmsh.pos » et modifier légèrement les options (figure 8) :

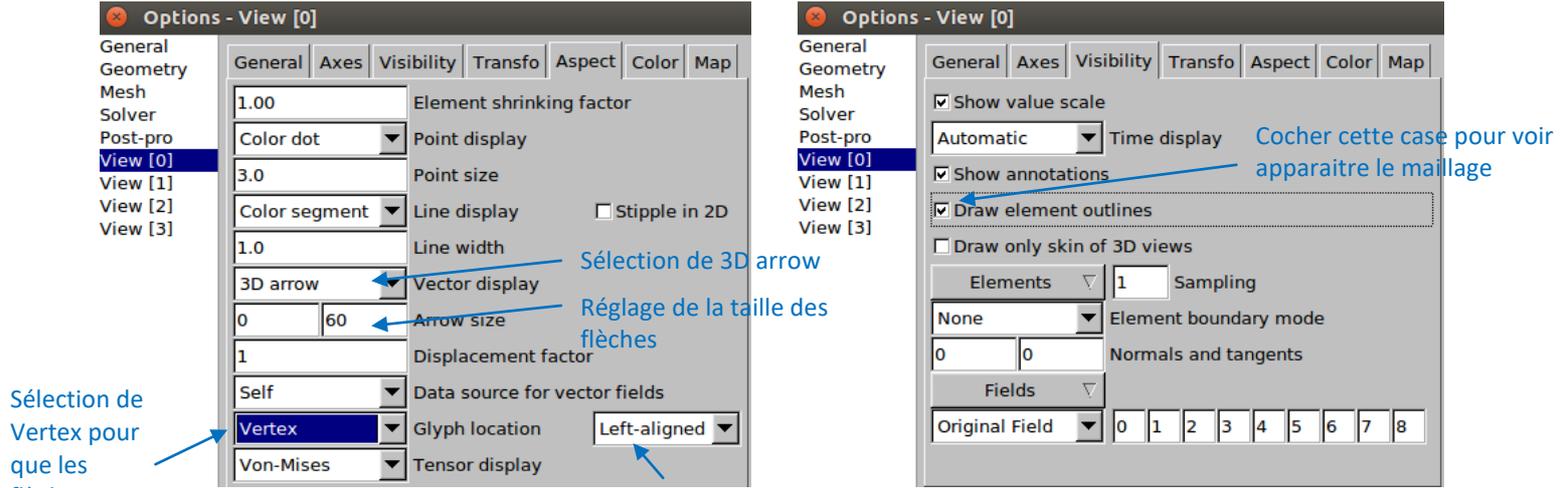


Figure 8: Réglages options

Permet de choisir si la flèche est centrée sur le nœud ou que la pointe s'appuie sur le nœud ou encore que la flèche démarre sur le point

Appliquer le même réglage pour l'autre force pour voir apparaître les efforts internes et externes comme ci-contre :

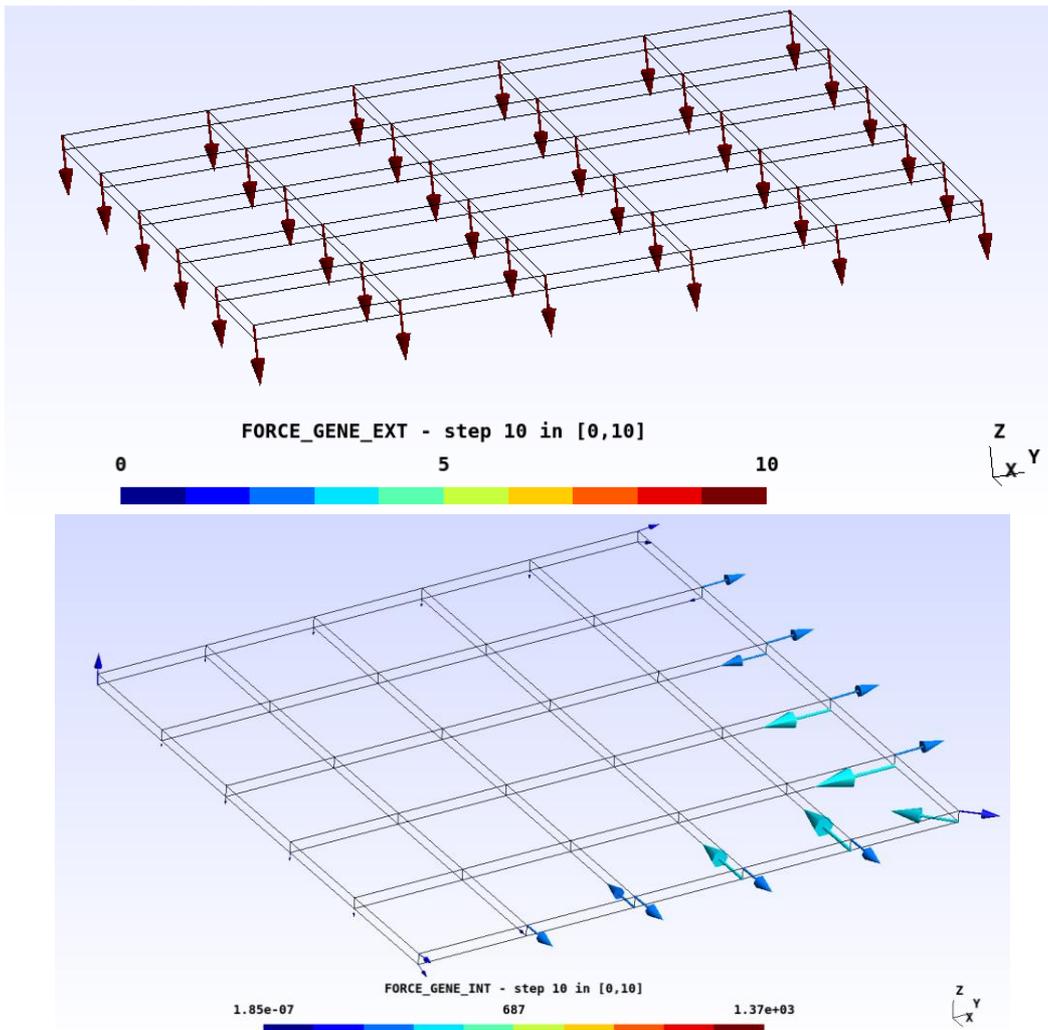


Figure 9: Affichage des efforts internes et externes

On peut ainsi voir si notre mise en donnée est correcte. On remarque que pour nos efforts externes notre effort de type ponctuel est bien appliqué vers le bas sur tous les nœuds de la face du dessus (121 nœuds). Cependant pour nos efforts internes cela reflète nos moments ce qui permettent aux frontières de symétrie de la plaque à rester verticales, c'est-à-dire, on visualise la répartition des efforts dans l'épaisseur ce qui va conduire à des moments de flexion.

III) Torseurs de réactions :

a) Obtention des torseurs de réactions

Pour aller plus loin, il est possible grâce à un fichier.maple de récupérer nos torseur de réactions liés à nos conditions limites. Ce fichier nous permet d'obtenir des grandeurs sous forme de tableau. Pour le créer il suffit avec le mot clé « avec plus visualisation » de suivre les étapes suivantes :

```

>>> temps fin (1) atteint <<<<< 1

===== choix du module de visualisation interactive =====
sauvegarde des commandes de visualisation      ? (rep 1)
visualisation automatique                       ? (rep 2)
visualisation au format vrml ?                 (rep 3)
visualisation par fichier de points, format maple ? (rep 4)
visualisation au format geomview              ? (rep 5)
visualisation au format Gid                   ? (rep 6)
changement de fichier de commande .CVisu     ? (rep 7)
visualisation au format Gmsh                 ? (rep 8)
nom grandeurs actuelles accessibles globalement ? (rep 9)
fin                                           (rep 0 ou f)
reponse ? 4 ← On sélectionne 4 pour créer un
              fichier .maple

===== module de visualisation par fichiers de points au format maple =====
===
=== choix des increments utilises pour l'initialisation de la visualisation ===
=
option par défaut : tous les increments          (rep 1)
choix d'un nombre plus petit d'increment       (rep 2) ← Permet d'obtenir si on veut un
reponse ? 1 ← On veut tous les increments par   incrément spécifique
              exemples
-----
.....choix numeros d'increment:                cni
.....choix du ou des maillages a visualiser:   cmv
.....choix grandeurs:                          cg ← Le menu suivant apparaît
.....animation_maple:                          ani
.....visualisation:                             visu
.arret visualisation interactive pour format maple:
reponse ? █

```

```

.....choix numeros d'increment:      cni
.....choix du ou des maillages a visualiser:  cmv
.....choix grandeurs:                  cg
.....animation_maple:                  ani
.....visualisation:                     visu
arret visualisation interactive pour format maple:  f
reponse ? cg ← On sélectionne cg pour choisir
nos grandeurs

grandeurs globales                    -> rep : glo
torseurs de reactions                  -> rep : tre
moyenne, maxi, mini etc. sur ref N    -> rep : smN
moyenne, maxi, mini etc. sur ref E    -> rep : smE
ddl aux noeuds                         -> rep : noe ?
ddl etendu aux noeuds                  -> rep : net ?
grandeur particuliere aux noeuds      -> rep : nop ?
grandeurs generique aux elements      -> rep : ele
grandeurs particulieres aux elements  -> rep : elp
grandeurs tensorielles aux elements   -> rep : elt
style de sortie                         -> rep : sty
pour accepter la valeur par default   -> rep : o
pour arreter les questions            -> rep : fin (ou f)
reponse ? tre ← Permet d'obtenir nos torseurs
de réactions

---- maillage: plaque_quad
liste des ref de torseur de reaction disponibles:
>>> N_bas_droit N_bas_arriere N_gauche N_avant

ref que vous voulez visualiser      (rep grandeurs?)
toutes les ref (rep par default)    (rep : to)
effacer la liste actuelle           (rep : ef)
                                     (pour terminer tapez : fin (ou f) )
grandeur ? to ← On veut toutes nos références

---- maillage: plaque_quad
liste des ref de torseur de reaction disponibles:
>>> N_bas_droit N_bas_arriere N_gauche N_avant
liste des ref de torseur actuellement a sortir:
<<<:  N_bas_droit N_bas_arriere N_gauche N_avant

```

Appuyer sur « f » afin d'arriver sur le menu ci-dessous

```

===== choix du module de visualisation interactive =====
sauvegarde des commandes de visualisation      ? (rep 1)
visualisation automatique                      ? (rep 2)
visualisation au format vrml ?                 (rep 3)
visualisation par fichier de points, format maple ? (rep 4)
visualisation au format geomview              ? (rep 5)
visualisation au format Gid                   ? (rep 6)
changement de fichier de commande .CVisu     ? (rep 7)
visualisation au format Gmsh                  ? (rep 8)
nom grandeurs actuelles accessibles globalement ? (rep 9)
fin                                            (rep 0 ou f)
reponse ? 1 ← On sauvegarde nos choix

===== choix du module de visualisation interactive =====
sauvegarde des commandes de visualisation      ? (rep 1)
visualisation automatique                      ? (rep 2)
visualisation au format vrml ?                 (rep 3)
visualisation par fichier de points, format maple ? (rep 4)
visualisation au format geomview              ? (rep 5)
visualisation au format Gid                   ? (rep 6)
changement de fichier de commande .CVisu     ? (rep 7)
visualisation au format Gmsh                  ? (rep 8)
nom grandeurs actuelles accessibles globalement ? (rep 9)
fin                                            (rep 0 ou f)
reponse ? f ← On quitte

temps_user:0/00:00:11.05 system:0/00:00:00.45 reel:0/00:04:50.81

=====
|                               fin HEREZH++                               |
=====

```

Figure 10: Création fichier.maple

Une fois ce fichier crée il est nécessaire de relancer le calcul pour obtenir nos torseurs de réactions. Notre fichier.maple se présente ainsi :

La colonne 1 correspond au temps donc nos incréments. Les autres sont liés aux composantes de nos torseurs de réactions.

```

"
#4 24 (nombre de torseurs et nombre total de grandeurs associees)
# N_bas_droit [2]Rx [3]Ry [4]Rz [5]Mx [6]My [7]Mz ;
# N_bas_arriere [8]Rx [9]Ry [10]Rz [11]Mx [12]My [13]Mz ;
# N_gauche [14]Rx [15]Ry [16]Rz [17]Mx [18]My [19]Mz ;
# N_avant [20]Rx [21]Ry [22]Rz [23]Mx [24]My [25]Mz ;
#
#incrément 1
1.000000000000e-01
[RX] [RY] [RZ] [MX] [MY] [MZ]
N_bas_droit 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 -4.723148233668e+01 -4.461412927749e+03 -4.020947538312e-01 0.000000000000e+00
N_bas_arriere 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 -4.723148232049e+01 4.020947537519e-01 4.461412926861e+03 0.000000000000e+00
N_gauche -8.387334890390e-02 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 1.590341031796e+03 6.083173884311e+03
N_avant 0.000000000000e+00 -8.387335556085e-02 0.000000000000e+00 -1.590341031820e+03 0.000000000000e+00 -6.083173884679e+03

```

Il y a au total 10 incréments dont le premier correspond à notre pas de temps 0,1s jusqu'à notre temps fin 1s

```

#incrément 10
1.000000000000e+00
[RX] [RY] [RZ] [MX] [MY] [MZ]
N_bas_droit 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 -4.969049513980e+02 -4.117729480279e+04 -7.072731425398e+00 0.000000000000e+00
N_bas_arriere 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 -4.969049513771e+02 7.072731425332e+00 4.117729480139e+04 0.000000000000e+00
N_gauche -9.749850480631e-03 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 1.936325820643e+04 2.654975785363e+05
N_avant 0.000000000000e+00 -9.749875613153e-03 0.000000000000e+00 -1.936325820652e+04 0.000000000000e+00 -2.654975785378e+05

```

Figure 11: Fichier.maple

La figure 11 présente nos torseurs mais cela a été ré-organisé sinon les résultats sont exposés par lignes et colonnes. Chaque ligne est liée à son incrément donc possède à la suite ces grandeurs identifiées par colonne. Sachant que RX, RY et RZ correspondent aux composantes de notre résultante et MX, MY et MZ à celles de nos moments.

$$\{T_{pièce \rightarrow environnement}\}_{Point\ de\ coordonnées\ (0,0,0)} = \begin{Bmatrix} Rx & Mx \\ Ry & My \\ Rz & Mz \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$$

b) Vérification des valeurs des torseurs

L'objectif est de comprendre comment sont calculés ces torseurs de réactions. Prenons comme exemple la référence N_bas_droit et N_bas_arriere.

Explication : Notre plaque est constituée de 363 nœuds dont 3 couches de nœuds sur l'épaisseur donc 121 nœuds sur une couche. On applique sur nos nœuds de la face du dessus un effort de 10N selon z soit 1210N.

Vérifions cette valeur :

Pour nos deux références N_bas_droit et N_bas_arriere, ces nœuds sont seulement bloqués selon z donc il y aura un effort selon ce même axe. Pour retrouver 1210 N il suffit de sommer ces 2 résultantes : $Rz = -496,9 - 496,9 = -993,8N$

Il y a une différence, en faite cela est dû à nos références car en effet, le nœud 1 appartient aux deux références donc cette effort à ce nœud sera ajouté une fois en trop comme on peut le voir dans notre fichier.her :

Il est constitué de notre maillage, il possède :

- Le Nombre de nœuds, le nombre d'éléments, la dimension de la structure etc
- Les coordonnées des différents nœuds
- Les références des nœuds (N_bas_droit etc)
- Nos éléments créés via les nœuds
- Les références de nos éléments

On observe cela :

N_droit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
33																
N_gauche	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346
347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	
363																
N_avant	31	32	33	64	65	66	97	98	99	130	131	132	163	164	165	196
197	198	229	230	231	262	263	264	295	296	297	328	329	330	361	362	
363																
N_haut_droit	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33					
N_haut_gauche	333	336	339	342	345	348	351	354	357	360	363					
N_haut_arriere	3	36	69	102	135	168	201	234	267	300	333					
N_haut_avant	33	66	99	132	165	198	231	264	297	330	363					
N_bas_droit	1	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31					
N_test 31																
N_bas_gauche	331	334	337	340	343	346	349	352	355	358	361					
N_bas_arriere	1	34	67	100	133	166	199	232	265	298	331					
N_bas_avant	31	64	97	130	163	196	229	262	295	328	361					
N_arriere_droit	1	2	3													
N_arriere_gauche	331	332	333													
N_avant_droit	31	32	33													
N_avant_gauche	361	362	363													
N_haut_arriere_droit	3															
N_haut_arriere_gauche	333															
N_haut_avant_gauche	363															
N_haut_avant_droit	33															
N_bas_arriere_droit	1															
N_bas_arriere_gauche	331															
N_bas_avant_gauche	361															
N_bas_avant_droit	31															

Les Références des nœuds utilisés pour nos conditions limites

Figure 12: Une partie des références des noeuds

D'ailleurs on peut voir que l'effort au nœud 1 n'est pas négligeable puisque celui-ci est conséquent d'après la figure suivante :

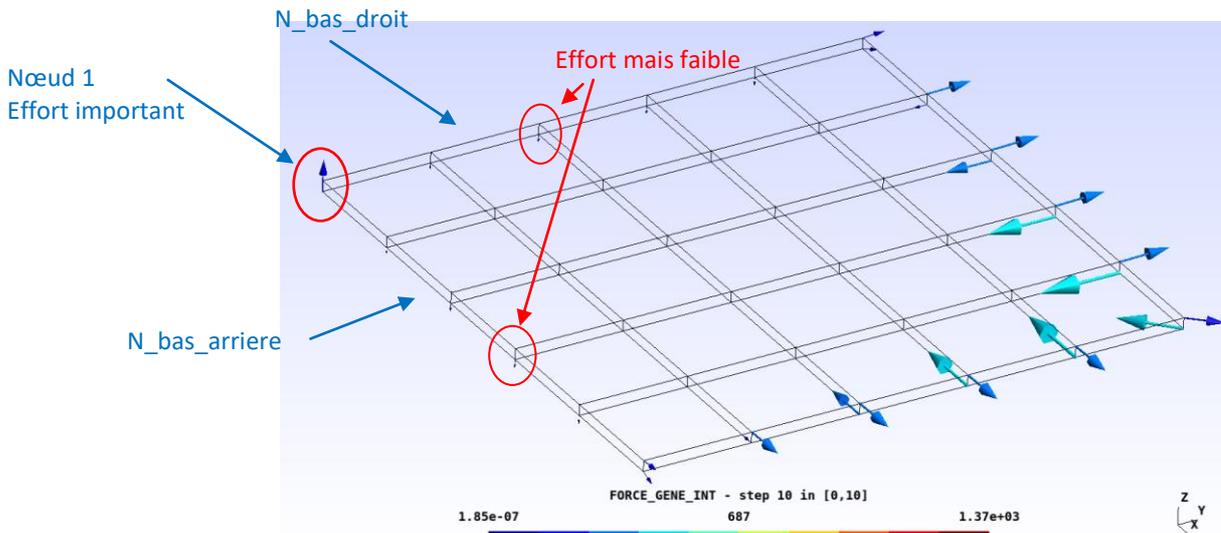


Figure 13: Effort interne

Pour connaître les efforts sur chaque nœud lié à nos conditions une méthode est de modifier légèrement la fin du fichier.info comme suit :

```

      para_affichage #-----
#-----
# PARAMETRE      | VALEUR      |
#-----
      FREQUENCE_SORTIE_FIL_DU_CALCUL 1

# -----
-----
      resultats #pas_de_sortie_finale_
      COPIE 0
#
      _fin_point_info_

```

Mettre cela en commentaire

Lorsque le calcul sera de nouveau calculé il y aura différent fichier créé dont :

- Plaque.reac possédant nos réactions sur chaque nœud
- Plaque.ddl possédant les déplacements des nœuds

A la fin du fichier.reac, celui-ci récapitule nos efforts individuels sur chacun de nos nœuds :

```

1    0 0 216.10753227887807
4    0 0 -37.454918402243244
7    0 0 -44.314137129626673
10   0 0 -91.097174091444444
13   0 0 -56.940770727036892
16   0 0 -109.07453762728187
19   0 0 -59.825686145806543
22   0 0 -109.10982915642093
25   0 0 -59.647230681311498
28   0 0 -110.58041125553714
31   0 104.27637522545103 -34.885737560268268

```

On remarque que le nœud 1 possède un effort important donc d'après nos calculs précédents, il ne faut pas ajouter deux fois la valeur du nœud 1, on obtient cela :

$$R_z = -496,9 - 496,9 - 216,1 = -1209,9N$$

Le résultat est ainsi cohérent avec notre type d'effort.

Pour ne pas reproduire cette erreur il suffit de modifier le fichier.her c'est-à-dire de retirer notre nœud 1 de ces deux références et de prendre qu'une seule référence possédant ce nœud (voir figure 14).

Exemple :

N_bas_arriere_droit possède le nœud 1

Numéro du nœud

Dans le fichier.ddl on observe :

```
Numero : [ 1 ]****//, du maillage: < 1 > =====
Coord t=0 : 0 0 0 ,
Coord a t : 0.02070487972524673 0.02070487972524444 0 ,
Coord a t+dt: 0.02070487972524673 0.02070487972524444 0 ,
6 Ddl a <<0>> <<t>> ( et variation)
<<tdt>> (et variation) :
X1 = 0, 0.02070487972524673 ( 0.02070487972524673),
0.02070487972524673 (0.02070487972524673 );
X2 = 0, 0.02070487972524444 ( 0.02070487972524444),
0.02070487972524444 (0.02070487972524444 );
X3 = 0, 0 ( 0),
0 ( 0 );
R_X1 = 0, 0 ( 0),
0 ( 0 );
R_X2 = 0, 0 ( 0),
0 ( 0 );
R_X3 = 0, 216.1075322788781 ( 216.1075322788781),
216.1075322788781 (216.1075322788781 );
FORCE_GENE_EXT Coordonnee dim= 3 0 0 0
FORCE_GENE_INT Coordonnee dim= 3 0.00021669324523365674
0.0002166938741785529 216.10753227887807
```

Coordonnée du nœud

Effort du nœud R_Xi

Appliquons la formule précédente :

$$\vec{M}_A = \vec{M}_{noeud\ 1} + A \text{Noeud}_1 \wedge \vec{R}_{noeud\ 1}$$

$$\vec{M}_A = \vec{0} + \begin{pmatrix} 0,0207 \\ 0,0207 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 216,1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4,47 \\ -4,47 \\ 0 \end{pmatrix}$$

On retrouve bien les mêmes valeurs que sur la figure 15.

Appliquons cette même formule mais sur la référence N_bas_droit qui possède les nœuds suivant : 4 7 10 13 16 19 22 25 28 31

Noeuds	Coordonnées des noeuds			Efforts selon z	Moments des nœuds en A		
	X	Y	Z	Rz individuel	X	Y	Z
4	0,01005	10,021	0	-37,45	-375,3	0,376	0
7	0,00105	20,022	0	-44,31	-887	0,0405	0
10	-0,00465	30,022	0	-91,09	-2734,7	-0,424	0
13	-0,00736	40,022	0	-56,94	-2278,9	-0,419	0
16	-0,00771	50,021	0	-109,07	-5455,8	-0,841	0
19	-0,00657	60,018	0	-59,83	-3590,9	-0,393	0
22	-0,00476	70,015	0	-109,11	-7219,2	-0,491	0
25	-0,00302	80,010	0	-59,65	-4772,6	-0,18	0
28	-0,00178	90,005	0	-110,58	-9952,8	-0,197	0
31	-0,00136	100	0	-34,89	-3489	-0,0475	0

Puis en sommant tous ces moments et ces efforts il est possible de retrouver notre torseur de réaction lié à cette référence :

$$\{T_{N_bas_droit \rightarrow environnement}\}_{\text{point de coordonnées } (0,0,0)} = \begin{pmatrix} 0 & -40756 \\ 0 & -2,57 \\ -712,9 & 0 \end{pmatrix}_{(x,y,z)}$$

IV) Conclusion :

Il vous est dorénavant possible d'appliquer un effort de type ponctuel sur une pièce quelconque et d'utiliser les conditions de symétries pour améliorer la rapidité du calcul. Mais aussi d'afficher les différents efforts selon le type de force (internes, externes etc..), visualiser ça déformée mais aussi de reconstituer un solide mettant en œuvre des conditions de symétries. D'ailleurs vous êtes dorénavant capable de créer un fichier.maple et de comprendre comment celui-ci fonctionne.

Dossier : mise_en_donnees_2_affichage_efforts

- Plaque100x100x2.her (maillage de la plaque)
- Plaque.info (mise en donnée du calcul)
- Poutre.Cvisu (fichier de sortie pour le traitement des résultats à observer)