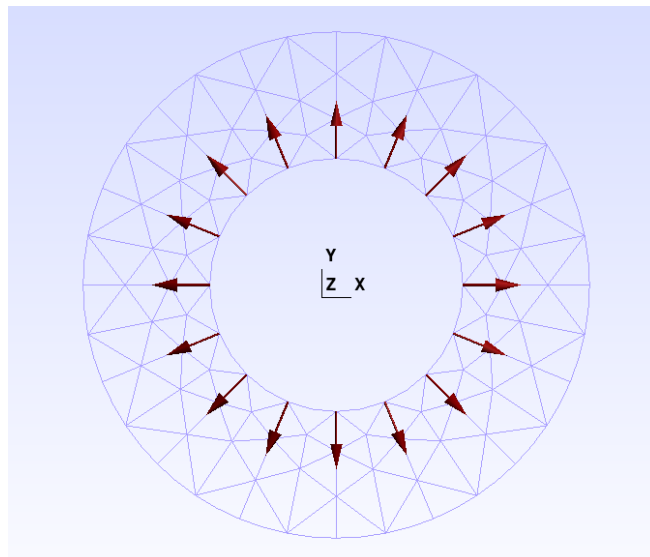


Tutoriel : Effort Rayonnant

Mise en place d'une fonction nD pour appliquer différents type de chargement dépendant d'une fonction

Gaëtan ROMAN

19/06/2017



Sommaire

I) Introduction :	3
II) Géométrie de la pièce	3
III) Calcul	6
IV) Les types de chargement	12
a) Force Ponctuelle	13
b) Force Linéique	15
c) Force Volumique	17
V) Conclusion	19

I) Introduction :

L'étude suivant porte sur un anneau, bloqué sur son contour extérieur avec un effort rayonnant appliqué sur son diamètre intérieur. Pour ce faire, nous devons utiliser une fonction nD dépendant de la position des nœuds. Nous verrons ainsi la méthode pour parvenir à ce résultat selon les types de chargement.

II) Géométrie de la pièce

Le disque possède un rayon intérieur de 15 mm et un rayon extérieur de 30 mm d'épaisseur 3mm. Nous utiliserons un maillage de type quadrangle quadratique. Le matériau utilisé sera du PVC de module d'Young $E=3500\text{MPa}$ et de coefficient de poisson $\nu=0.3$.

Nous devons créer cette géométrie sous stamm comme suit :

```

type d'elements : (1D, 2D, 3D) ? 2D ← Choix des éléments en 2D

choix lu: 2D
type de decoupage :
rectangulaire          (reponse r ) ? ← Élément quadrangle
triangulaire           (reponse t ) ?
treilli rectangulaire  (reponse tr ) ?
treilli triangulaire   (reponse tt ) ?
rectangulaire axi-symetrique (reponse ra ) ?
triangulaire axi-symetrique (reponse ta ) ? r

choix de l'interpolation :
lineaire               (reponse li ) ?
quadratique complet   (reponse qc ) ? ← Maillage d'ordre 2 complet
quadratique incomplet (reponse qi ) ?
cubique incomplet     (reponse ci ) ?
cubique complet       (reponse cc ) ? qc

calcul de la position des noeuds :
de maniere exacte     (reponse e) ? ← Position des nœuds de manière exacte
de maniere aleatoire autour d'une position exacte (reponse a) ?
aleatoire sur la geometrie sauf frontieres et symetries (reponse s) ?
aleatoire sur la geometrie uniquement noeuds internes (reponse i) ? e

type de geometrie :
rectangle              (reponse rec ) ?
parallelogramme        (reponse prl ) ?
plaque en helice        (reponse phe ) ?
cylindre               (reponse cyl ) ?
portion de cylindre    (reponse pcy ) ?
disque                 (reponse disq ) ?
portion angulaire de disque (reponse a_disq) ?
dome hemispherique complet (reponse dome ) ?
tranche horizontale de dome hemispherique (reponse p_dome) ?
tranche angulaire de dome hemispherique (reponse a_dome) ? ← Géométrie de type anneau
anneau                 (reponse ann ) ? ann

rayon externe : ? 30 ← Dimension des rayons intérieurs et extérieurs
rayon interne : ? 15

nombre d'element suivant le rayon ? 4 ← Choix du nombre d'éléments
le long d'un quart du cercle ? 4

nom du fichier de sortie ? : test ← Nom du fichier possédant le maillage
nom lue : test

```

Figure 1: Stamm terminal

Notre anneau est ainsi visualisable sous hz_visuMail comme ci-contre :

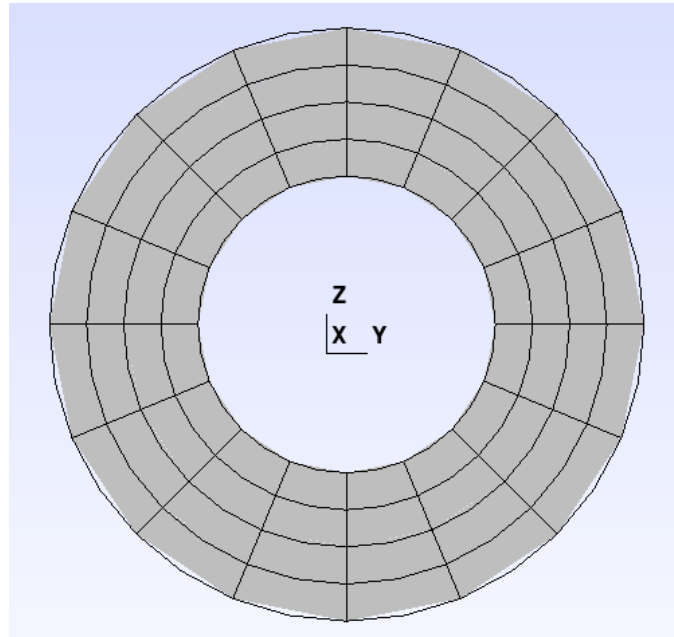


Figure 2: Maillage de l'anneau

Or nous observons une mauvaise orientation du maillage. En effet, pour qu'un calcul fonctionne sous herezh en dimension 2, il faut que le maillage soit par rapport au plan x et y et non sur un plan y et z. Pour résoudre cela, il suffit de faire une rotation du maillage de 90° par rapport à y. Voici la mise en donnée permettant cela :

```
#-----
# definition de la dimension de l'espace de travail |
#-----
dimension 3 ← Dimension de l'espace de travail ici 3 pour qu'on puisse
                utilisé l'axe z. En 2D selon les axes x et y sont utiles.
#-----
# definition facultative du niveau d'impression (entre 0 et 10) |
#-----
niveau_commentaire 5 ← Choix du niveau de commentaire par défaut 3
#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL
                ← Utilitaire permettant de sauvegarder le maillage en fin
                de calcul
utilitaires avec plus sauveMaillagesEnCours
#-----
#| definition du (ou des) maillage(s) |
#-----
                ← Nom du maillage final
nom_maillage disque_opti # nom du maillage
noeuds ----- # definition des noeuds
0 NOEUDS # definition du nombre de noeuds
elements -----
0 ELEMENTS # definition du nombre d'elements
                ← Initialement ce maillage est vide. Mais en
                fin de calcul, il sera complété de noeuds et
                d'élément avec un fichier.lis pour
                répertorier les différentes références
```

```

# -- def maillage
< disque.her ← Nom du maillage à modifier

def_mouvement_solide_initiaux ← Mots clés permettant l'utilisation d'un mouvement solide
mouvement_solide_ # def de mouvements solides
  centre_ = 0. 0. 0. ← Centre de l'anneau
  rotation_ = 0. 90. 0. en_degre_ ← Rotation de 90° par rapport à y
fin_mouvement_solide_

fusion_avec_le_maillage_precedent_ ← Permet la fusion du maillage final dans le fichier initialement vide nommé disque_opti

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

          choix_materiaux -----
#-----
# Elements |   Nom   Materiau   |
#-----
E_tout pvc

          materiaux #-----
#-----
# Nom Materiau |   Type loi   |
#-----
      pvc          ISOELAS2D_C
# ..... loi de comportement isoelastique 2D, contraintes planes .....
# module d'young :   coefficient de poisson
3500 0.3

# -- definition du type de deformation (par default:
DEFORMATION_STANDART) --
          type_de_deformation   DEFORMATION_STANDART
#----- fin def des lois de comportement -
-----

# --- divers stockages (1) -----
masse_volumique #-----#
E_tout 1.
epaisseurs #-----#
E_tout 1.
charges #-----#

blocages #-----#

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

_fin_point_info_

```

Ci-dessous on définit les mots clés attendus par Herezh mais pas utile pour ce type de calcul

Lors de l'exécution de ce fichier nous obtenons ce nouveau maillage réorienté visualisable sous hz_visuMail.pl :

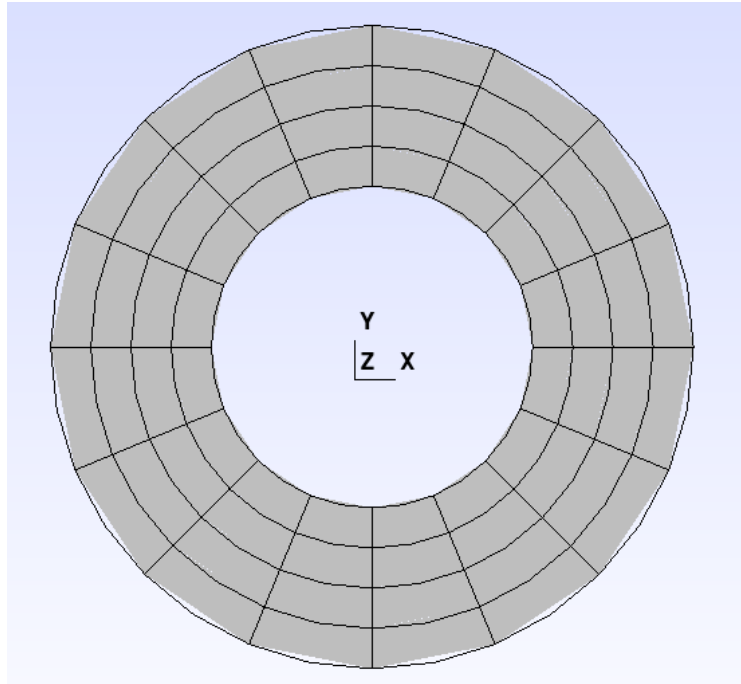


Figure 3: Maillage orienté de l'anneau

III) Calcul

Le principe du calcul est le suivant :

Nous allons utiliser un divers chargement de même intensité selon x et y sur le contour intérieur tout en bloquant le diamètre extérieur. Cependant notre effort sera dirigé par rapport au rayon du disque. Pour ce faire, nous utiliserons une fonction nD qui récupérera suivant x et y la valeur des coordonnées des nœuds. Il faut savoir qu'une fonction nD ne dépend pas du temps à l'instar des courbes 1D mais seulement des arguments qu'on utilise. Ci-joint la mise en donnée permettant de réaliser le calcul :

```
#-----
# definition de la dimension de l'espace de travail |
#-----
dimension      2      ← Dimension de l'espace de travail

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

#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL
non_dynamique      ← Calcul de type non dynamique
avec plus visualisation      ← Permet de créer le fichier.Cvisu en fin de calcul
contenant ce que nous voulons visualiser
```

Les efforts d'inertie ne sont pas pris en compte, il s'agit d'un calcul quasi-statique ou avec une cinématique lente

```

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

# -- def maillage
< disque_opti.her           ← On insère notre maillage orienté
< disque_opti.lis

#-----
#   Definition des courbes
#-----
< courbe2.ch                 ← Insertions du fichier permettant l'utilisation d'une
                               fonction nD.
                               Ces fichiers seront expliqués après le fichier.info

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

                                choix_materiaux -----
#-----
# Elements   |   Nom   Materiau   |
#-----
E_tout pvc ← Sur tous nos éléments on définit le nom du
              matériau

                                materiaux #-----
#-----
# Nom Materiau   |   Type loi   |
#-----
pvc             ISOELAS2D_C ← Loi de Hooke en contrainte plane pour des éléments surfaciques
# ..... loi de comportement isoelastique 2D, contraintes planes
.....
#   module d'young :   coefficient de poisson
3500 0.3 ← Insertion des paramètres du PVC

#   -- definition du type de deformation   (par default:
DEFORMATION_STANDART) --
                                type_de_deformation   DEFORMATION_STANDART
#----- fin def des lois de
comportement -----

#   --- divers stockages (1) -----
masse_volumique #-----#
E_tout 1 ← Pas utilisé pour un calcul non dynamique mais c'est un mot
           clé attendu par Herezh
epaisseurs #-----#
E_tout 3 ← On définit l'épaisseur de 3 mm de l'anneau

                                charges #-----#
N_gauche PONCTUELLE 100. 100.   Fonction_nD_CHARGE: fct_force
#A_force LINEIQUE 34.176 34.176 #Fonction_nD_CHARGE: fct_force
#E_gauche VOLUMIQUE 3.3 3.3   Fonction_nD_CHARGE: fct_force

                                blocages #-----#
#-----
#   nom du maillage | Ref noeud | Blocages
#-----
N_droit UX UY ← On bloque notre contour extérieur

                                ← On définit nos efforts évoluant suivant une fonction de
                                charge nommé fct_nom. Les valeurs définies par la fonction
                                nD sera multiplié par 100 pour le premier terme et par 100
                                pour le second terme (virgule permettant de jongler entre
                                les termes)

```

```

controle -----
#-----
# PARAMETRE      | VALEUR      |
#-----
SAUVEGARDE      1
DELTAtMAXI      0.1
TEMPSFIN        1.
DELTAt          0.1
ITERATIONS      16
PRECISION       1.e-3

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

# -----
-----

      resultats pas_de_sortie_finale_
      COPIE 0

      _fin_point_info_

```

On borne notre pas de temps
Notre calcul se finira au temps 1 donc 10 incréments
Pas de temps de 0,1s

Ce que possède le fichier courbe2.ch :

Mot clé permettant l'utilisation d'une fonction nD

```
les_fonctions_nD #-----
```

Nom de la fonction

```

fct_force FONCTION_EXPRESSION_LITTERALE_nD
deb_list_var_ X1 X2 temps_courant fin_list_var_
fct= temps_courant * (X1/(X1*X1+X2*X2)^0.5), temps_courant *
(X2/(X1*X1+X2*X2)^0.5)
fin_parametres_fonction_expression_litterale_

```

Fin de la définition d'une fonction nD

Utilisation d'une fonction permettant d'exprimer littéralement notre fonction

Définitions de nos arguments en utilisant des grandeurs globales :

- X1 coordonnées des nœuds à l'instant t selon x
- X2 coordonnées des nœuds selon y à l'instant t
- temps_courant permet d'obtenir le temps t pour créer une dépendance de la fonction par rapport au temps

Introduction de notre fonction littérale. La virgule permet de séparer la dépendance de x et y. Le premier terme dépend seulement de x pour notre force ponctuelle puis le second seulement de y.

Lors de l'exécution du fichier.info nous récupérons les grandeurs des efforts aux nœuds puis la déformée ainsi que la contrainte de mises sous un fichier.Cvisu.

Lors de l'exécution du calcul sur Herezh, on observe un jacobien négatif comme ci-contre :

```
on annule sa contribution. Element nb: 56 nb d'integ : 1
***** attention on a trouve un jacobien negatif!! (-10.4066)*****

on annule sa contribution. Element nb: 56 nb d'integ : 2
***** attention on a trouve un jacobien negatif!! (-10.944)*****

on annule sa contribution. Element nb: 56 nb d'integ : 3
***** attention on a trouve un jacobien negatif!! (-9.7567)*****

on annule sa contribution. Element nb: 56 nb d'integ : 4
***** attention on a trouve un jacobien negatif!! (-10.288)*****

on annule sa contribution. Element nb: 56 nb d'integ : 5
***** attention on a trouve un jacobien negatif!! (-10.8192)*****

on annule sa contribution. Element nb: 56 nb d'integ : 6
***** attention on a trouve un jacobien negatif!! (-9.86918)*****

on annule sa contribution. Element nb: 56 nb d'integ : 7
***** attention on a trouve^C
oman@roman-X751LJ:~/Documents/Stage_annee2/tuto_1ere_annee/Effort_rayonnant_c
be_nD_stamm$
```

Pour y remédier nous utiliserons l'utilitaire permettant de réorienter notre maillage. Voici la mise en donnée permettant cela :

```
#-----
# definition de la dimension de l'espace de travail |
#-----
dimension 2 ← Dimension de l'espace de travail

#-----
# definition facultative du niveau d'impression (entre 0 et 10) |
#-----
niveau_commentaire 5 ← Niveau de commentaire par défaut 3

#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL ← Utilitaire permettant la réorientation des éléments

utilitaires avec plus modif_orientation_element

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

# -- def maillage
< disque_opti.her ← Insertion du maillage à réorienter. En fin de calcul
< disque_opti.lis l'utilitaire va créer 2 nouveaux fichiers possédant ce
maillage réorienté.

#=====  
#| definition des lois de comportement |  
#-----
disque_opti_nevez.her  
disque_opti_never.lis
```

```

choix_materiaux -----
#-----
# Elements | Nom Materiau |
#-----
E_tout pvc

materiaux #-----
#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
pvc ISOELAS2D_C
# ..... loi de comportement isoelastique 2D, contraintes planes .....
# module d'young : coefficient de poisson
3500 0.3

# -- definition du type de deformation (par default:
DEFORMATION_STANDART) --
type_de_deformation DEFORMATION_STANDART
#----- fin def des lois de comportement -
-----

# --- divers stockages (1) -----
masse_volumique #-----#
E_tout 1.
epaisseurs #-----#
E_tout 1.
charges #-----#

blocages #-----#

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

_fin_point_info_

```

Ci-dessous les mots clés attendus par Herezh mais pas utile pour ce type de calcul

Voici comment se servir de cet utilitaire :

```

=====
|      modification de l'orientation d'element      |
=====
                                Voici le menu proposé :
===== choix du module d'orientation =====
verification de l'orientation ?                (rep veor)
orientation automatique pour un jacobien positif ? (rep oajp)
orientation des faces d'elem 2D via un elem de ref? (rep faor)
orientation des faces d'elem 2D via un rayon ? (rep fray)
fin                                             (rep f)
reponse ? veor ← Cela permet de voir s'il y a bien un
                                jacobien négatif dans le maillage

il y a 1 maillages a considerer

element nb= 1jacobien negatif
element nb= 2jacobien negatif
element nb= 3jacobien negatif                Détection des éléments ayant
                                un jacobien négatif
element nb= 4jacobien negatif
element nb= 5jacobien negatif
element nb= 6jacobien negatif
element nb= 7jacobien negatif
element nb= 8jacobien negatif
    
```

```

element nb= 56jacobien negatif
element nb= 57jacobien negatif
element nb= 58jacobien negatif
element nb= 59jacobien negatif
element nb= 60jacobien negatif
element nb= 61jacobien negatif
element nb= 62jacobien negatif
element nb= 63jacobien negatif
element nb= 64jacobien negatif
===== choix du module d'orientation =====
verification de l'orientation ?                (rep veor)
orientation automatique pour un jacobien positif ? (rep oajp)
orientation des faces d'elem 2D via un elem de ref? (rep faor)
orientation des faces d'elem 2D via un rayon ? (rep fray)
fin                                             (rep f)
reponse ? oajp ← Permet l'orientation automatique pour ne plus avoir
                                de jacobien négatif

il y a 1 maillages a considerer

===== choix du module d'orientation =====
verification de l'orientation ?                (rep veor)
orientation automatique pour un jacobien positif ? (rep oajp)
orientation des faces d'elem 2D via un elem de ref? (rep faor)
orientation des faces d'elem 2D via un rayon ? (rep fray)
fin                                             (rep f)
reponse ? f

temps_user:0/00:00:00.01 system:0/00:00:00.00 reel:0/00:00:41.37

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

Lorsque le calcul sera exécuté 2 nouveaux fichiers sera crée (disque_opti_nevez.her et .lis). Ces fichiers posséderont le maillage orienté pour ne plus avoir de jacobien négatif. Au préalable il faut penser des les ajouter (à la place de l'ancien maillage) dans le fichier possédant la mise en donnée du calcul pour faire l'effort rayonnant.

IV) Les types de chargement

Rappel : Pour nos efforts nous utilisons cette fonction

```
les_fonctions_nD #-----
fct_force FONCTION_EXPRESSION_LITTERALE_nD
  deb_list_var_ X1 X2 temps_courant fin_list_var_
  fct= temps_courant * (X1/(X1*X1+X2*X2)^0.5), temps_courant *
  (X2/(X1*X1+X2*X2)^0.5)
fin_parametres_fonction_expression_litterale_
```

Cette fonction littérale vient par définitions du cosinus et du sinus qui sera multiplié par la force selon x ou y. D'où :

$$\cos(\vartheta) = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypothénuse (rayon)}} \text{ et } \sin(\vartheta) = \frac{\text{opposé}}{\text{hypothénuse (rayon)}}$$

$$\cos(\vartheta) = \frac{X1}{\sqrt{(X1^2 + X2^2)}} \text{ et } \sin(\vartheta) = \frac{X2}{\sqrt{(X1^2 + X2^2)}}$$

Ainsi :

$$F_x = F_{\text{ponctuel sur } x} \times \cos(\vartheta) \text{ et } F_y = F_{\text{ponctuel sur } y} \times \sin(\vartheta)$$

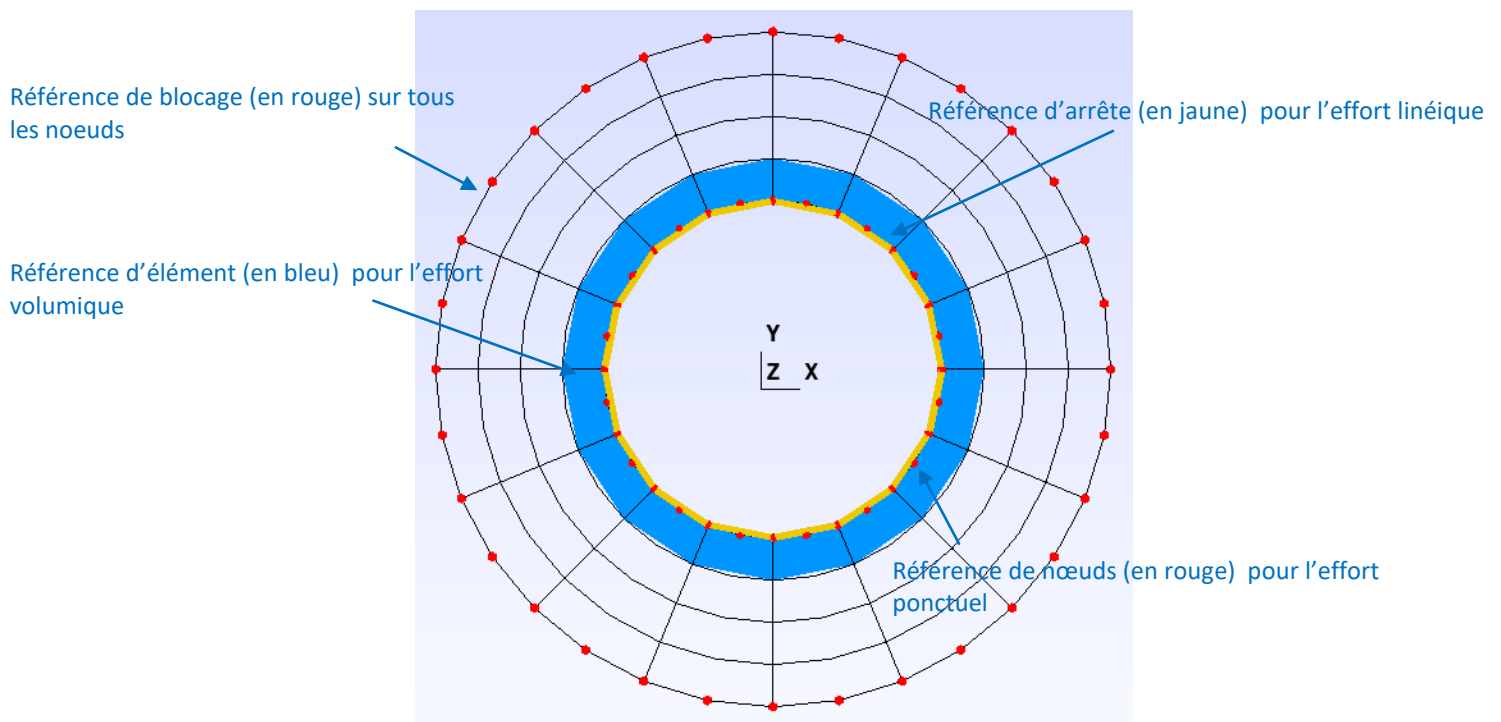


Figure 4: Références du maillage

a) Force Ponctuelle

Les composantes de l'effort selon x et y seront automatiquement calculées donnant une force d'intensité égale à 100 N sur tout son rayon sur chacun des nœuds (32 nœud car maillage de type quadrangle d'ordre 2).

Lors de l'exécution du calcul nous obtenons cela :

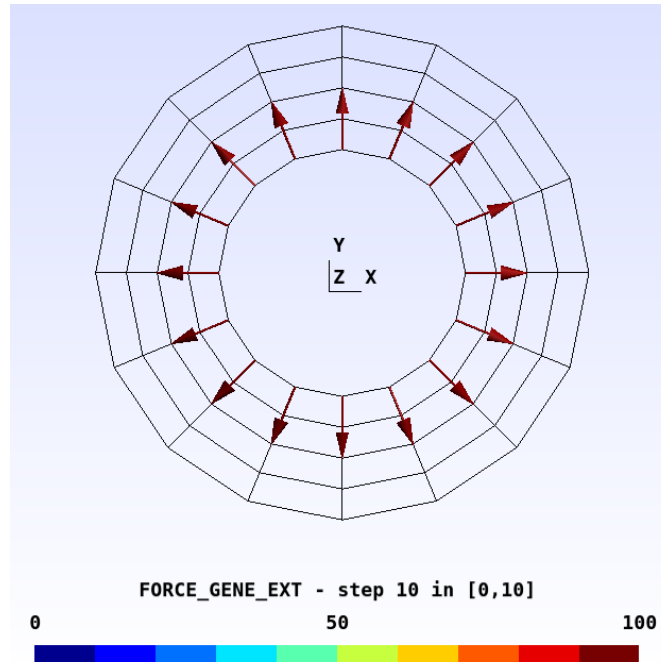


Figure 5: Efforts externes

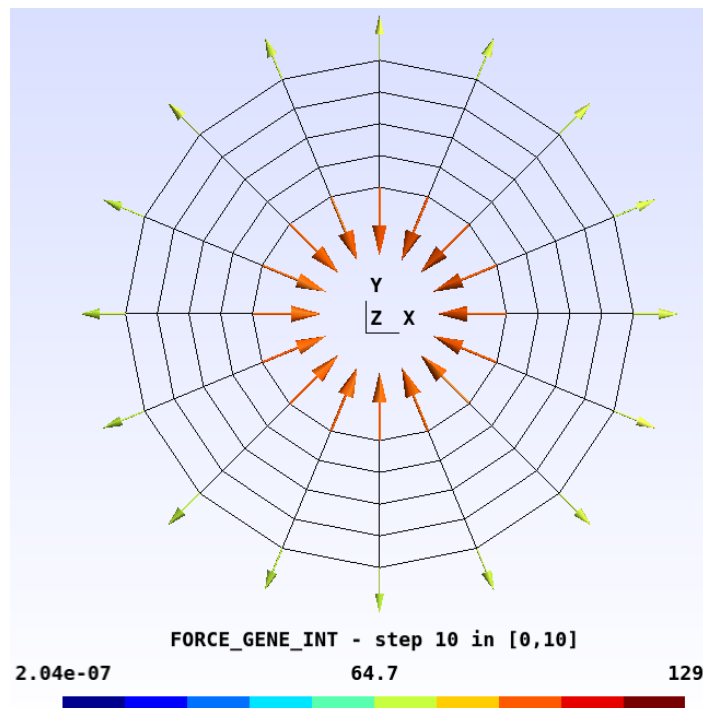


Figure 6: Efforts internes

Avec cette méthode on utilise par définition notre cosinus selon x et notre sinus selon y avec multiplication respectif de la force selon son axe. Lorsque le cosinus est égal à 1, nous avons bien un effort parallèle à l'axe x. Lorsque le sinus est égale à 1, nous avons bien un effort parallèle à l'axe y. Lorsque le cosinus et le sinus sont différents de 1, la force est appliquée selon les composantes calculées. Ainsi notre effort interne dépend de l'intensité de la force utilisé pour le chargement ponctuel, ici 100 N selon x et y.

Pour nos efforts internes on observe bien une opposition à la force égale sauf au niveau du blocage.

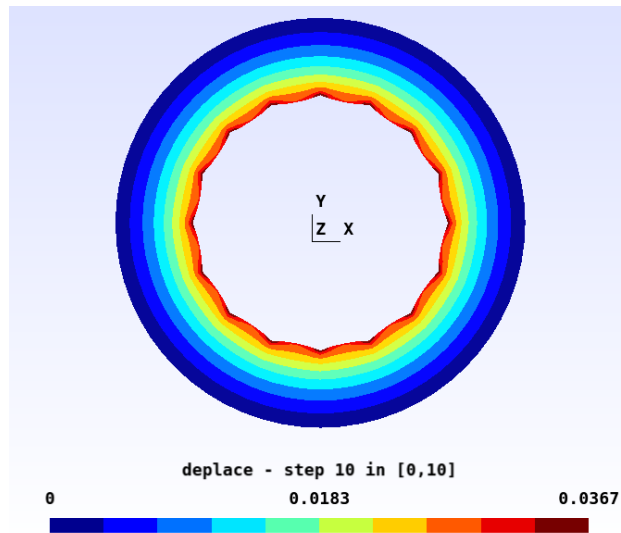


Figure 7: Déformé de l'anneau

On observe une déformée faible (0,0367 mm) selon tout son rayon vers l'intérieur de l'anneau. Cela est cohérent par rapport à l'effort que nous appliquons sur le contour intérieur, le contour extérieur étant bien bloqué.

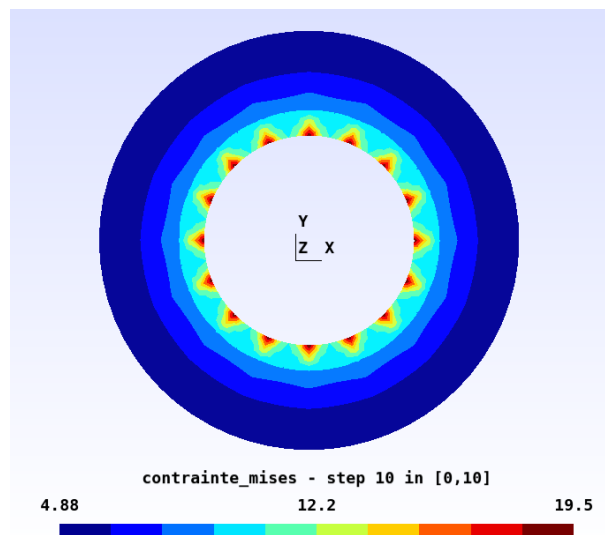


Figure 8: Répartition de la contrainte

Notre anneau ne cédera pas pour cet effort. En effet, la résistance élastique du PVC est de 35 MPa qui est supérieure à 19,5 MPa. De plus, on remarque que la concentration de contrainte maxi est essentiellement sur chacun des nœuds où l'effort ponctuel s'applique.

b) Force Linéique

Déterminons l'effort nécessaire pour un chargement linéique.

Un chargement linéique est défini par une référence d'arrête. Cet effort dépend de la longueur de chaque arrête de la référence.

Pour pouvoir appliquer sur notre anneau un effort équivalent à l'effort ponctuel il suffit de calculer l'effort qui s'applique sur la référence d'arrête par unité de longueur.

Notre référence d'arrête possède 16 arrêtes de longueur 5,852 mm on obtient :

$$fl = \frac{100 \times 32 \text{ (effort total de la ponctuelle sur chaque noeud)}}{16 \times 5,852} \approx 34,176 \text{ N/mm}$$

Il suffit d'appliquer cet effort de même intensité selon x et y, nous observons ainsi ces résultats :

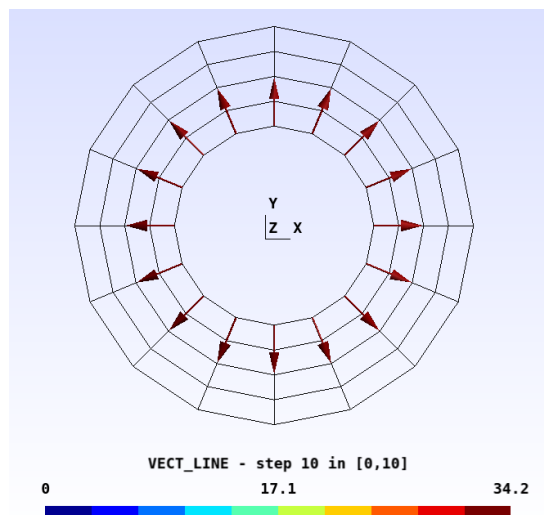


Figure 9: Efforts externes

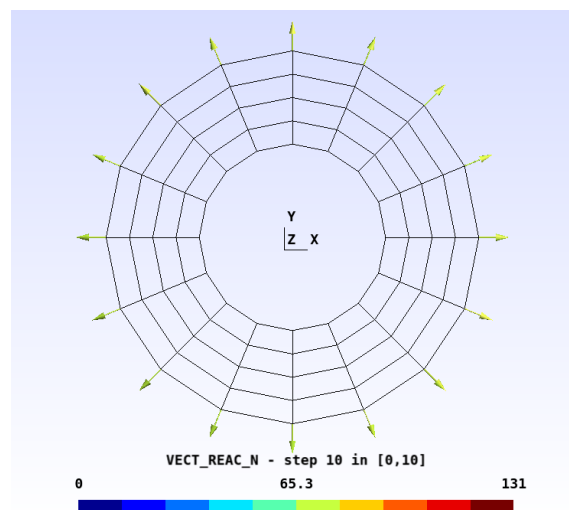


Figure 10: Efforts internes

On observe bien pour nos efforts internes un chargement correspondant à notre mise en donnée (34,176 N/mm) puis celle-ci est bien dirigée selon tout son rayon. De plus, pour nos efforts internes l'intensité maximale est de 65,3 N au niveau des nœuds. Cela correspond à

l'additionnement des efforts de droit et de gauche à chaque extrémité des nœuds des arrêtes ($34,2+34,2=68,4$ N/mm).

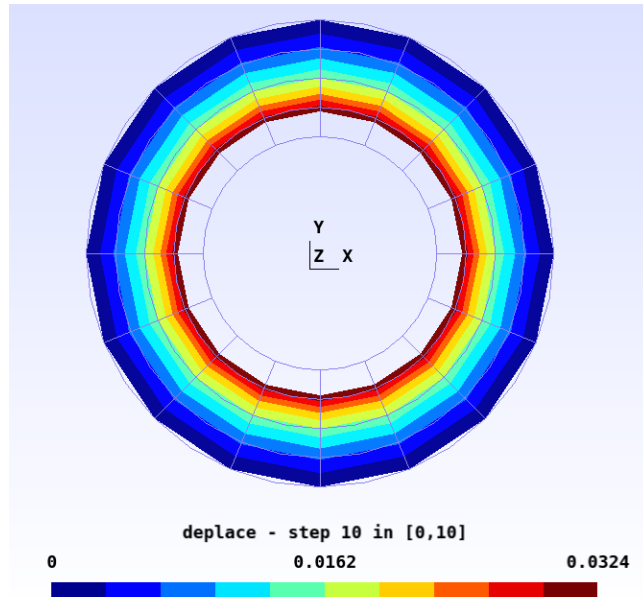


Figure 11: Déformée de l'anneau

On observe une déformée faible (0,0324 mm) selon tout son rayon vers l'intérieur de l'anneau. Cela est cohérent par rapport à l'effort que nous appliquons sur le contour intérieur, le contour extérieur étant bien bloqué.

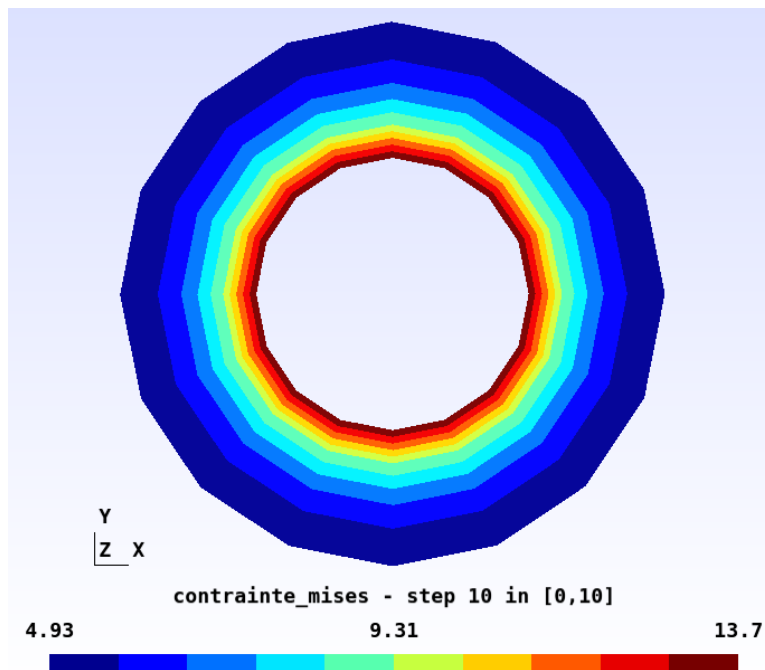


Figure 12: Répartition de la contrainte

Notre anneau ne cédera pas pour cet effort. En effet, la résistance élastique du PVC est de 35 MPa qui est supérieure à 13,7 MPa. De plus, on remarque que la concentration de contrainte maxi est essentiellement sur chacune des arrêtes où l'effort linéique s'applique.

c) Force Volumique

Déterminons l'effort nécessaire pour un chargement volumique.

Un chargement volumique est défini par une référence d'élément. Cet effort dépend du volume de la référence.

Pour pouvoir appliquer sur notre anneau un effort équivalent à l'effort ponctuel il suffit de calculer l'effort qui s'applique sur la référence d'élément par unité de volume.

Notre référence d'élément possède 16 éléments dont chaque quadrangle faisant 5,853(longueur)x3,46(hauteur)x3(épaisseur) mm ainsi:

$$fv = \frac{100 \times 32}{16 \times 5,853 \times 3,46 \times 3} \approx 3,3 \text{ N/mm}^3$$

Il suffit d'appliquer cet effort de même intensité selon x et y, nous observons ainsi ces résultats :

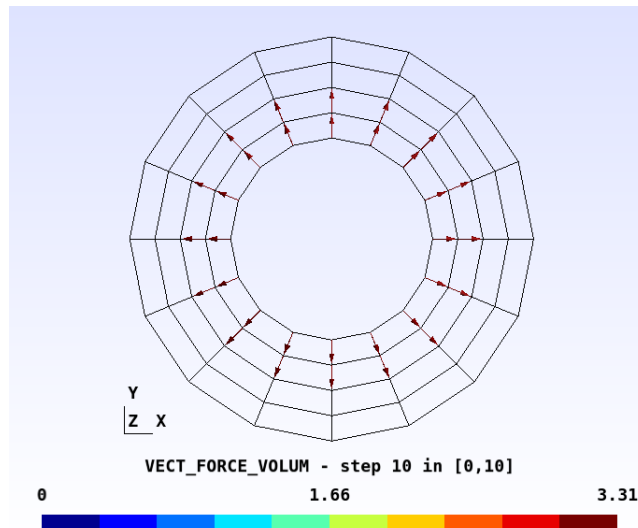


Figure 13: Efforts externes

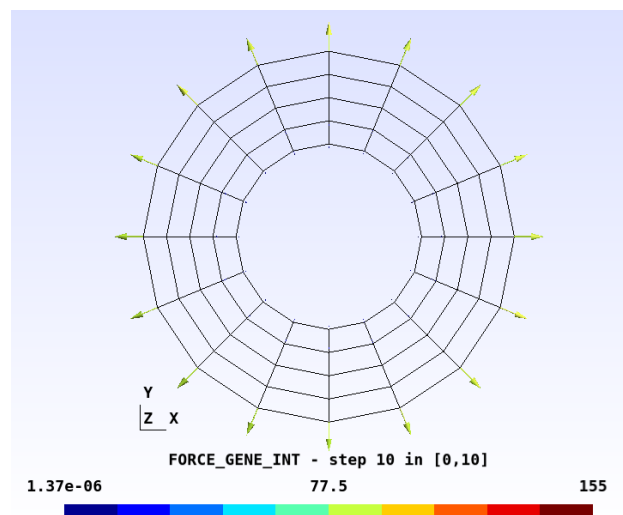


Figure 14: Efforts internes

On observe bien pour nos efforts internes un chargement correspondant à notre mise en donnée (3,3 N/mm³) puis celle-ci est bien dirigée selon tout son rayon. De plus, pour nos efforts internes l'intensité maximale est de 77,5 N au niveau des nœuds.

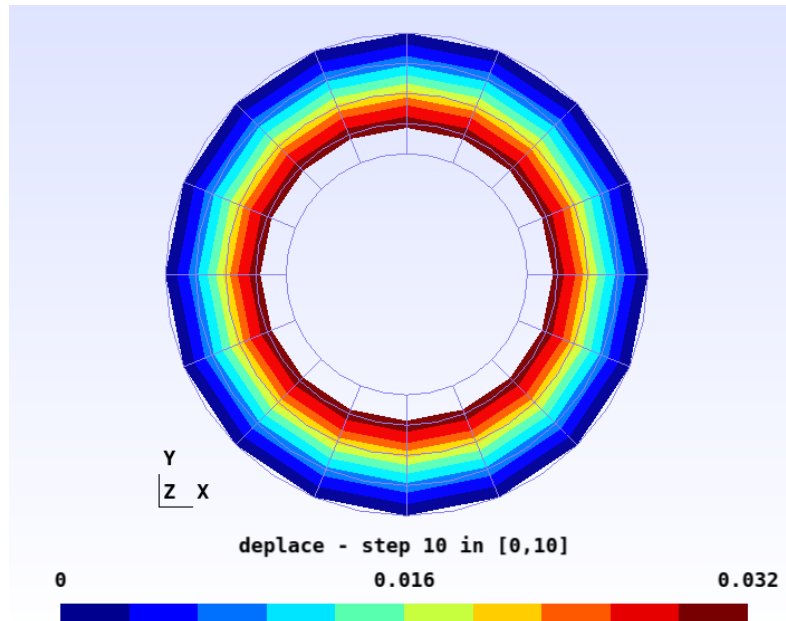


Figure 15: Déformée de l'anneau

On observe une déformée faible (0,032 mm) selon tout son rayon vers l'intérieur de l'anneau. Cela est cohérent par rapport à l'effort que nous appliquons sur le contour intérieur, le contour extérieur étant bien bloqué.

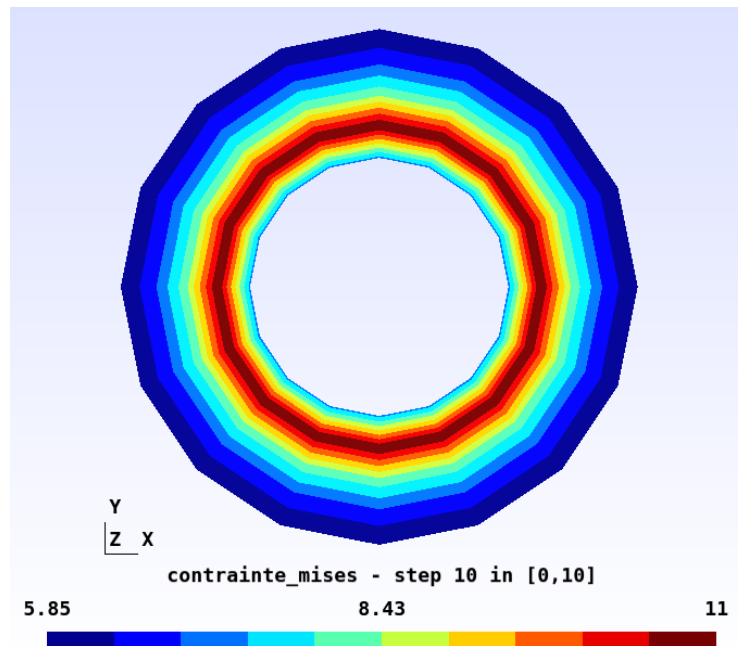


Figure 16: Répartition de la contrainte

Notre anneau ne cédera pas pour cet effort. En effet, la résistance élastique du PVC est de 35 MPa qui est supérieure à 11 MPa. De plus, on remarque que la concentration de contrainte maxi est essentiellement sur la référence d'élément où l'effort volumique s'applique.

V) Conclusion

Vous pouvez à présent utiliser des fonctions nD selon votre cas. Puis même d'utiliser une fonction nD selon n'importe quel type de chargement. Cependant, on remarque des différences aux niveaux des résultats cela correspond essentiellement à l'approximation des calculs des forces mais aussi à l'évolution des références dans le temps. En effet, une référence de volume, de surface voire de longueur peut augmenter ou diminuer durant le calcul alors qu'un nœud voit ses coordonnées changer de position. Pour un chargement en pression c'est exactement le même principe mais il nous faut une référence de face donc pour ce cas travaillé en 3D, cet effort dépend de la surface où celui-ci est appliqué (il faut calculer son intensité par rapport à la surface de la référence).

D'ailleurs, il est possible d'utiliser des fonctions 1D déjà existantes puis de les faire dépendre d'une grandeur globale et même de combiner plusieurs fonctions nD. Le principe est à peu près le même que pour une courbe en 1D cependant cette fonction nD est multidimensionnelle ainsi elle ne dépend pas que du temps mais d'autres variables évoluant durant le calcul.