

Tutoriel : Traction/Compression

Mise en place d'une courbe de chargement en 1D

Gaëtan ROMAN

15/06/2017

Sommaire

I)	Introduction :	3
II)	Etude :	3
III)	Eprouvette Traction/Compression	3
a)	Création de la géométrie :	3
b)	Mise en donnée du calcul :	6
c)	Résultat :	10
d)	Gnuplot :	11
e)	Etude théorique	16
IV)	Conclusion	17

I) Introduction :

L'étude suivante porte sur une éprouvette (figure 1) soumise à un effort ponctuel à chaque extrémité et bloquée en son centre. Cette éprouvette sera dans un premier temps soumise à un effort de traction puis de compression. Pour ce faire, il est nécessaire de mettre en application une courbe de chargement en 1D. Ce document est la suite des différents tutoriels mis à votre disposition.

II) Etude :

Voici les dimensions de l'éprouvette : épaisseur 5mm – acier ($E=210\,000\text{ MPa}$ et $\nu=0,3$)

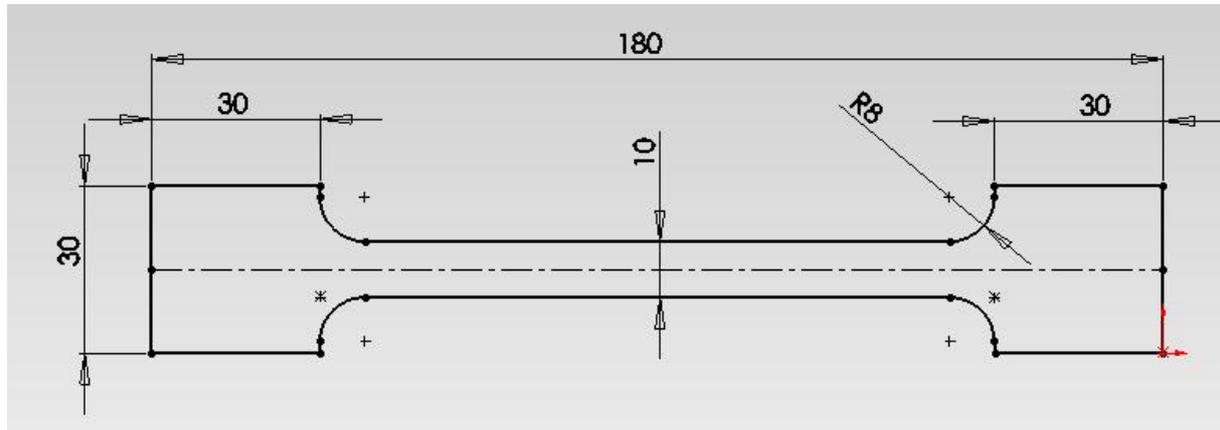


Figure 1: Dimension de l'éprouvette en 2D

Travail attendu :

- 1) Créer l'éprouvette entière sous le logiciel gmsh
- 2) Utiliser un maillage triangle quadratique
- 3) Optimiser son maillage
- 4) Faire la mise en donnée pour simuler à la fois une traction puis une compression
- 5) Récupérer sa déformée avec la contrainte et sa déformation selon x
- 6) Tracer la contrainte en fonction de la déformation avec gnuplot

A la suite, vous aurez une explication sous forme d'un tutoriel vous permettant de reproduire cette étude.

III) Eprouvette Traction/Compression

a) Création de la géométrie :

Avec gmsh, créons la géométrie de l'éprouvette à l'aide du fichier.geo comme ci-contre :

- Définir les coordonnées des points (figure 1 et 2)
- Définir les lignes (figure 2)
- Définir la surface (figure 2)
- Définir nos références utiles (figure 5)
- Utiliser un maillage triangle d'ordre 2 (figure 3)

```
//Finesse du maillage
ma=5;
// Définitions des points
Point(1) = {0, 0, 0, ma};
Point(2) = {30, 2, 0, ma};
Point(3) = {30, 0, 0, ma};
Point(4) = {38, 10, 0, ma};
Point(5) = {38, 2, 0, ma};
Point(6) = {90, 10, 0, ma};
Point(7) = {90, 15, 0, ma};
Point(8) = {0, 15, 0, ma};
Point(9) = {0, 30, 0, ma};
Point(10) = {30, 30, 0, ma};
Point(11) = {30, 28, 0, ma};
Point(12) = {38, 28, 0, ma};
Point(13) = {38, 20, 0, ma};
Point(14) = {90, 20, 0, ma};
Point(15) = {142, 20, 0, ma};
Point(16) = {142, 28, 0, ma};
Point(17) = {150, 28, 0, ma};
Point(18) = {150, 30, 0, ma};
Point(19) = {180, 30, 0, ma};
Point(20) = {180, 15, 0, ma};
Point(21) = {180, 0, 0, ma};
Point(22) = {150, 0, 0, ma};
Point(23) = {150, 2, 0, ma};
Point(24) = {142, 2, 0, ma};
Point(25) = {142, 10, 0, ma};
// Définitions de lignes
Line(1) = {1, 3};
Line(2) = {3, 2};
Circle(3) = {2, 5, 4};
Line(4) = {4, 6};
Line(5) = {6, 7};
Line(6) = {7, 14};
Line(7) = {6, 25};
Circle(8) = {25, 24, 23};
Line(9) = {23, 22};
Line(10) = {22, 21};
Line(11) = {21, 20};
Line(12) = {20, 19};
Line(13) = {19, 18};
Line(14) = {18, 17};
Circle(15) = {17, 16, 15};
Line(16) = {15, 14};
Line(17) = {14, 13};
Circle(18) = {13, 12, 11};
Line(19) = {11, 10};
Line(20) = {10, 9};
Line(21) = {9, 8};
Line(22) = {8, 1};
Line(25) = {8, 7};
Line(26) = {7, 20};
//Définitions de la surface
Line Loop(23) = {18, 19, 20, 21, 22, 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17};
Plane Surface(24) = {23};
//Définition des références
Physical Line("force_neg") = {21, 22};
Physical Line("force_pos") = {12, 11};
Physical Line("blocage_x") = {6, 5};
Physical Line("blocage_y") = {25, 26};
Physical Surface("surface") = {24};
```

Permet d'ajuster la taille du maillage

On définit les coordonnées de tous nos nœuds voir figure 2 pour comprendre les numéros

On relie nos nœuds soit par des lignes ou des arcs de cercles (voir figure 2)

Création de notre surface (voir figure 2)

Création de nos références : (voir figure 2)

- Force_neg est la ligne à l'extrémité qui s'oppose à l'axe x
- Force_pos est la ligne à l'extrémité suivant x
- Blocage_x est la ligne du milieu bloquant la translation selon x
- Blocage_y est la fibre neutre empêchant la translation selon y
- Surface nous permet de récupérer nos éléments triangles

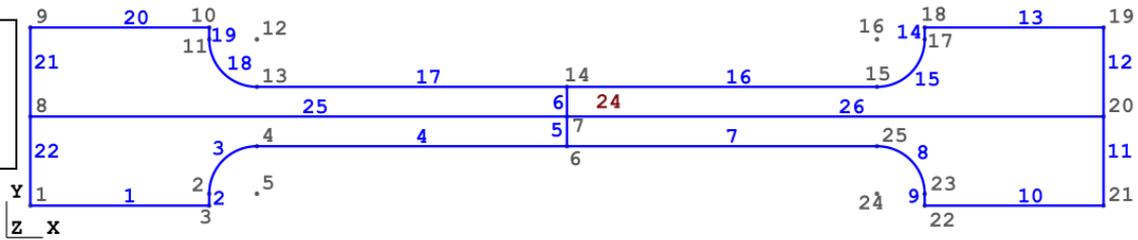


Figure 2: Géométrie de l'éprouvette

Puis on crée notre maillage de type triangle quadratique, nous devons obtenir cela :

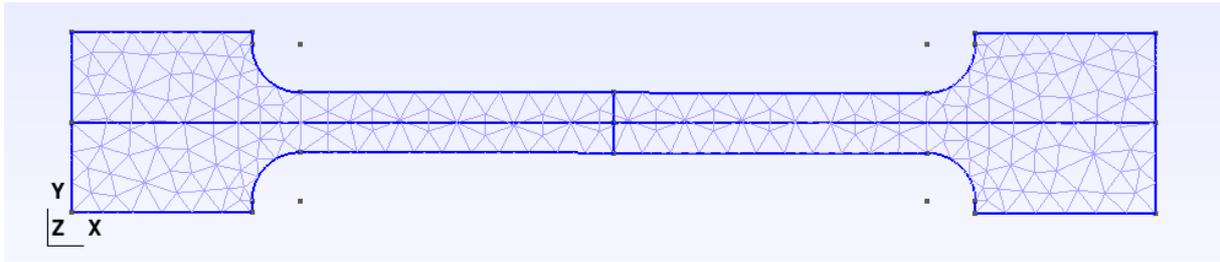


Figure 3: Maillage de l'éprouvette

Ensuite, nous devons convertir le maillage fourni par gmesh en format msh vers her. Pour cela, il faut utiliser msh2her comme suit :

```
roman@roman-X751LJ:~/Documents/Stage_annee2/tuto_1ere_annee/traction_poutre_cour
be_charge$ msh2her.pl eprouvette.msh

#####
#
#                               msh2her.pl                               #
#   transformation d'un maillage genere par le programme gmesh         #
#   en un maillage utilisable par Herezh++                             #
#   licence GPL,                                                         #
#                               gerard.rio@univ-ubs.fr                 #
#                               http://www-lg2m.univ-ubs.fr/~rio       #
#   version 2.2                                                         #
#####

lecture des tags (preparation a la creation des references)
format de sauvegarde du maillage : msh 2.2
nombre total de references lus : 4
les references
1 => force_neg
4 => surface
2 => force_pos
3 => blocage

lecture des coordonnees des noeuds      nombre total de noeuds lus : 844
lecture des elements      nombre total d'elements lus : 386
nombre d'elements du type segment quadratique a 3 noeuds = 14
nombre d'elements du type triangle quadratique a 6 noeuds = 372
nombre initial d'elements differents 2

=== choix d'elements: voulez-vous ?
conserver les elements du type segment quadratique a 3 noeuds (rep o ou n) n
*** on supprime les elements segment quadratique a 3 noeuds***

conserver les elements du type triangle quadratique a 6 noeuds (rep o ou n) o
==> ok, on conserve les elements triangle quadratique a 6 noeuds
triangle quadratique a 6 noeuds: nombre de points d'integration par default 0 ? (
rep o/n) o

#####
#
#                               msh2her.pl                               #
#   fin creation du fichier de maillage .her                             #
#####
```

Pour exécuter msh2her.pl utiliser la commande suivante à la racine de vos fichiers.

msh2her.pl nom_fichier.msh

Il lit nos références créées dans nos Physical Group pour lui associer des éléments spécifiques

Éléments biellettes d'ordres 2 pour nos lignes
Éléments triangles d'ordre 2 pour notre surface

On récupère seulement un maillage possédant des triangles d'ordre 2

Figure 4: Utilisation de msh2her.pl

Ensuite nous obtenons notre fichier.her contenant notre maillage utilisable sous Herezh. Pour le visualiser, exécuter la commande suivante dans un terminal à la racine de vos fichiers : « hz_visuMail.pl nom_fichier.her »

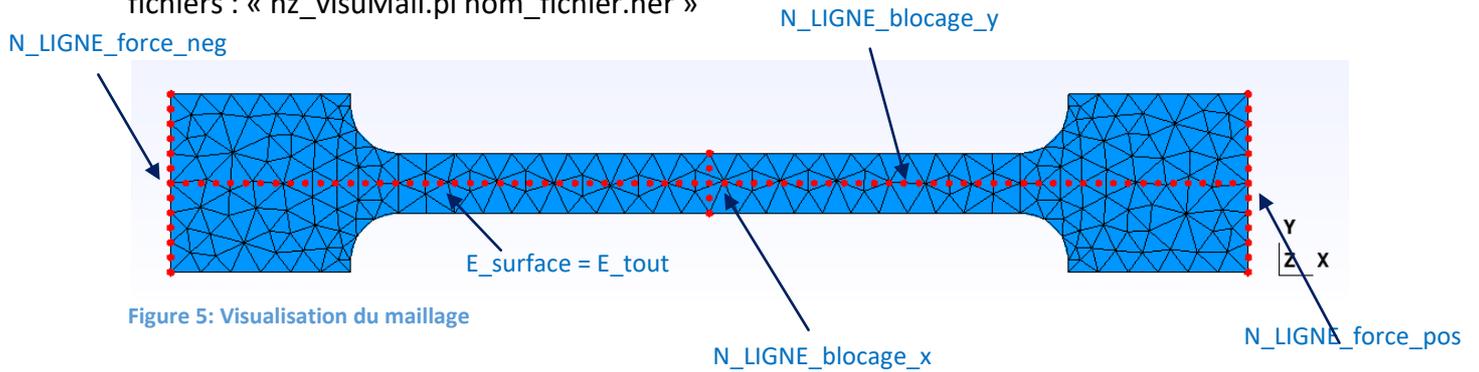


Figure 5: Visualisation du maillage

b) Mise en donnée du calcul :

Lorsqu'on utilise un maillage créé sous gmsh il faut l'optimiser pour gagner en temps de calcul et de place en mémoire. C'est-à-dire nous devons renuméroter les nœuds, fusionner les nœuds proches, supprimer les nœuds non référencés et supprimer les éléments superposés.

Voici la mise en donnée du maillage.info :

```
# --- commentaire sur l'objet du travail ???
#-----
# 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 ← Permet de sauvegarder le maillage optimisé (il n'y a pas de calcul effectué seulement de l'optimisation mais il est nécessaire de fournir les différents mots clés attendus par Herezh)

utilitaires avec plus sauveMaillagesEnCours

#-----
#| definition du (ou des) maillage(s) |
#-----
nom_maillage eprouvette_opti # nom du maillage ← Nom du nouveau maillage contenant nos nœuds et les éléments ainsi que les références associés
  noeuds ----- # definition des noeuds
    0 NOEUDS # definition du nombre de noeuds
  elements -----
    0 ELEMENTS # definition du nombre d'elements

# -- def maillage
< eprouvette.her ← On insère le maillage à optimiser fournit par gmsh
```

```

suppression_noeud_non_references_
fusion_noeuds_proches_ 0.01
fusion_elements_superposes_
renumerotation_des_noeuds_

fusion_avec_le_maillage_precedent_

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

          choix_materiaux -----
#-----
# Elements | Nom   Materiau   |
#-----
E_tout acier
          materiaux #-----
#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
          acier          ISOELAS2D_C
# ..... loi de comportement isoelastique 2D, contraintes planes .....
# module d'young : coefficient de poisson
210000 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 5.
          charges #-----#
          blocages #-----#

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

          _fin_point_info_

```

← Paramètres permettant d'optimiser notre maillage

← Permet de sauvegarder le maillage dans le maillage optimisé. Ainsi, le maillage initial ne sera pas écrasé donc ça permet de garder une trace de ce maillage

A la suite, nous devons mettre tous ces mots clés :

← On définit sur tous nos éléments une loi de nom acier

← Loi de Hooke

← Paramètre de l'acier

← On définit l'épaisseur et la masse volumique cependant elle n'est pas prise en compte pour ce calcul

← Mots clés attendus

Une fois effectuée nous possédons alors notre nouveau maillage mais celui-ci est optimisé. Toutes nos références précédemment définis sont conservés. Nous pouvons ainsi faire la mise en donnée du calcul permettant de faire une traction puis une compression sur cette éprouvette.

Voici le fichier traction.info contenant le calcul effectué :

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

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

# -- def maillage ← On insère notre maillage optimisé
< eprouvette_opti.her
< eprouvette_opti.lis

#-----
# definition des differentes courbes
#-----
les_courbes_1D -----

< courbe_traction ← Nom du fichier possédant notre courbe 1D détaillé après

#----- fin des courbes 1D -----

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

#-----
# Elements | Nom Materiau |
#-----
E_tout acier ← Sur tous nos éléments on définit le nom de la loi

materiaux #-----

#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
acier 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
210000 0.3 ← Insertion des paramètres de l'acier

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

```
# --- divers stockages (1) -----
epaisseurs #-----#
E_tout 5
masse_volumique #-----#
E_tout 1

charges #-----#
N_LIGNE_force_neg PONCTUELLE -1 0 COURBE_CHARGE: traction
N_LIGNE_force_pos PONCTUELLE 1 0 COURBE_CHARGE: traction

blocages #-----#
#-----#
# nom du maillage | Ref noeud | Blocages
#-----#
N_LIGNE_blocage_x UX
N_LIGNE_blocage_y UY

controle -----
#-----#
# PARAMETRE | VALEUR |
#-----#
SAUVEGARDE 1
DELTAtMAXI 0.2
TEMPSFIN 4.
DELTAt 0.2
ITERATIONS 16
PRECISION 1e-3

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

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

#
_fin_point_info_
```

On définit l'épaisseur de 5 mm de l'éprouvette

Pas utilisé pour un calcul non dynamique mais c'est un mot clé attendu par Herezh

On définit nos efforts évoluant suivant une courbe de charge nommé traction. Les valeurs défini par le fichier courbe_traction sera multiplié par 1 ou -1

On fait 2 blocages :

- La ligne du milieu selon x pour éviter une translation
- La fibre neutre selon y car celle-ci reste fixe sur cet axe

On borne notre pas de temps

Notre calcul se finira au temps 4 qui est associé en fonction de la courbe (20 incréments)

Pas de temps de 0,2s

Si itérations supérieur à 16 alors il n'y a pas de convergence

Précision sur les résultats du calcul

Ce qui est contenu dans le fichier courbe_traction :

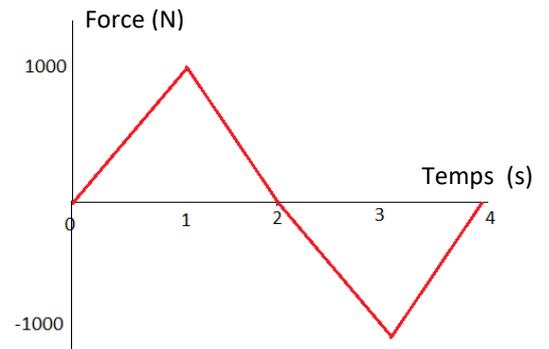
```
# def du chargement de traction
traction COURBEPOLYLINEAIRE_1_D
Debut_des_coordonnees_des_points
Coordonnee dim= 2 0 0
Coordonnee dim= 2 1 1000
Coordonnee dim= 2 2 0
Coordonnee dim= 2 3 -1000
Coordonnee dim= 2 4 0
Fin_des_coordonnees_des_points
```

Nom de la courbe

Mot clé pour définir une courbe 1D

Valeur des efforts

Incrément de temps



Sur la figure 6, veuillez retrouver la signification de la définition de cette courbe

Figure 6: Courbe traction/compression

En fin de calcul nous récupérerons sous gmsh la déformée de l'éprouvette, la contrainte et la déformation selon x ainsi que les efforts internes et externes. => voir tutoriel affichage des efforts internes et externes pour créer ces différents fichiers si besoin

En suivant le tutoriel précisé il vous sera possible de visualiser et comprendre comment sont définis les efforts sur cette éprouvette puis surtout de pouvoir créer ces fichiers demandés.

c) Résultat :

Vous pouvez visualiser ces différents résultats à l'aide la commande suivante sous un terminal à la racine de vos fichiers: « gmsh nom_dossier_Gmsh/*pos » Cette commande permet d'ouvrir tous les fichiers qui sont contenus dans le dossier_Gmsh de format pos.

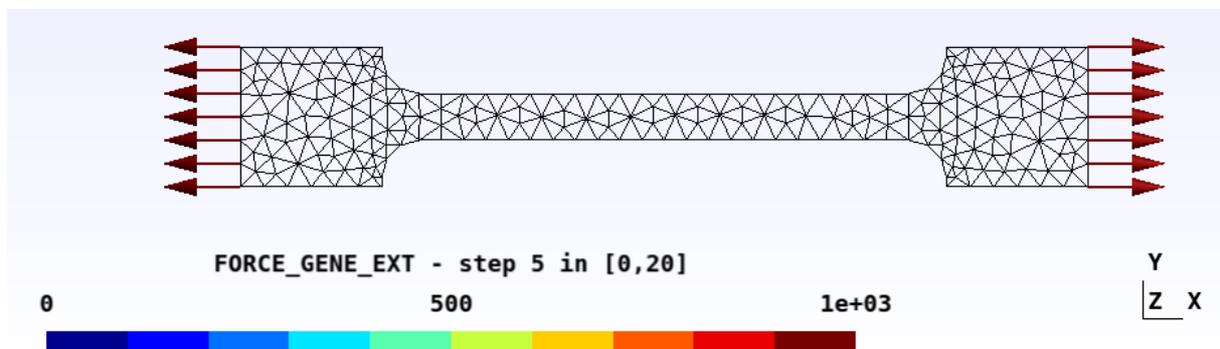


Figure 7: Force externe en traction

On observe bien un effort de type traction (étire l'éprouvette selon x) soit un effort ponctuel sur tous nos nœuds de 1000 N. Celui-ci est maximum à l'incrément 5 c'est-à-dire pour un temps de 1s (5x0,2s) voir figure 6.

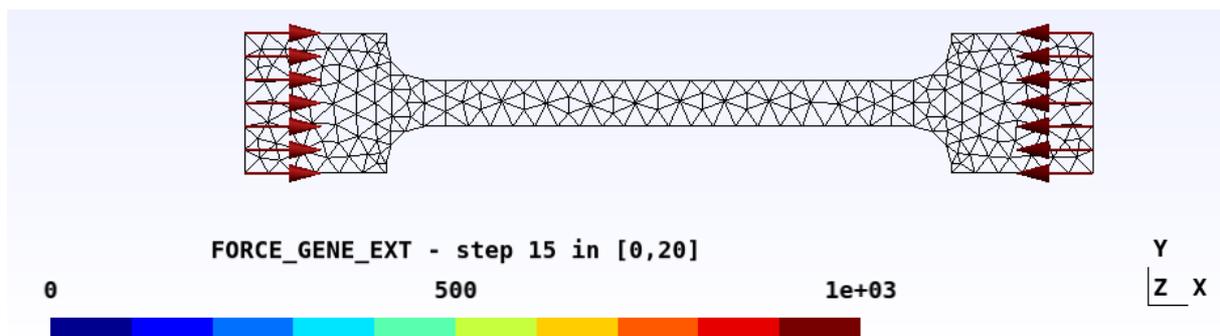
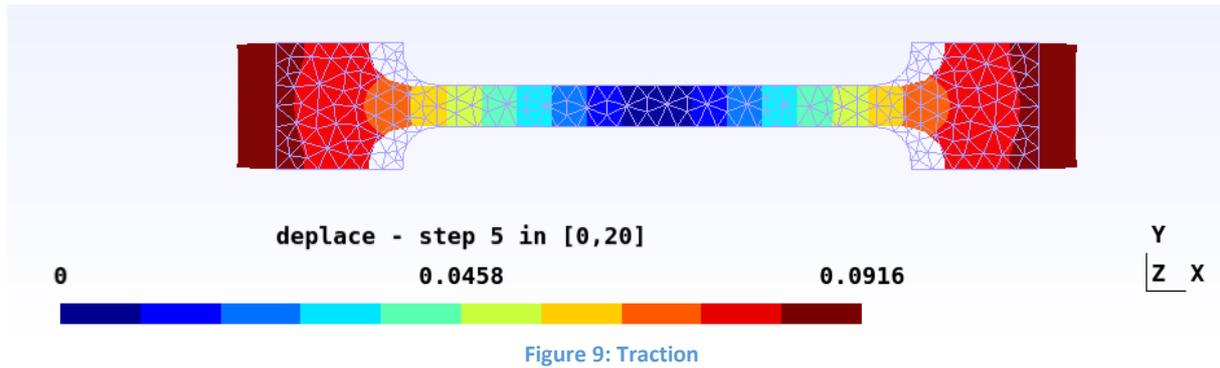
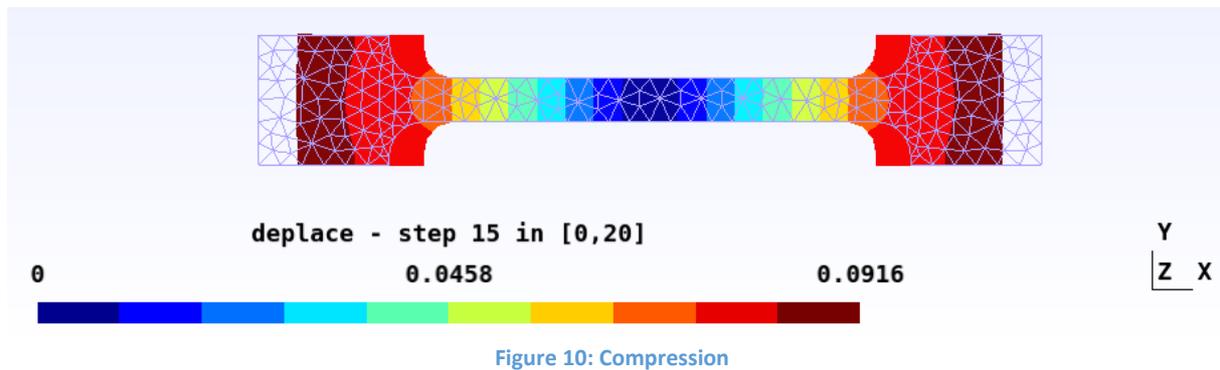


Figure 8: Force externe en compression

On observe bien un effort de type compression (comprime l'éprouvette selon x) soit un effort ponctuel sur tous nos nœuds de 1000 N. Celui-ci est maximum à l'incrément 15 c'est-à-dire pour un temps de 3s (15x0,2s) voir figure 6.



On remarque bien un déplacement lorsque l'éprouvette est soumise à une traction, celle-ci s'étire selon x d'un faible déplacement. Sur la figure le déplacement est amplifié par 100.



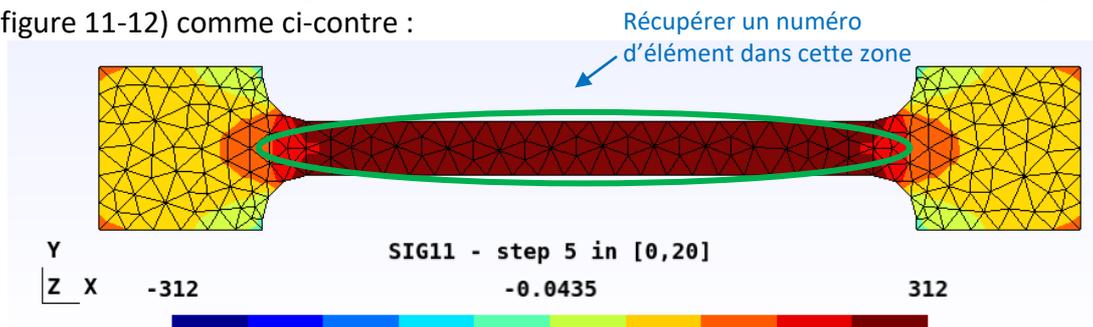
On remarque bien un déplacement lorsque l'éprouvette est soumise à une compression, celle-ci se comprime selon x d'un faible déplacement. Sur la figure le déplacement est amplifié par 100.

On remarque d'ailleurs que les efforts appliqués sont bien en rapport avec la courbe de chargement que nous avons défini. On observe bien sur un même calcul une traction et une compression selon l'incrément de charge lié au temps.

d) Gnuplot :

Nous allons tracer la courbe de contrainte (SIG11) en fonction de la déformation en % (EPS11).

Pour ce faire, il faut dans un premier temps créer notre fichier.mapple en récupérant notre contrainte et notre déformée sur l'élément possédant cette grandeur où elle se trouve maximal (la visualiser sous gmsh et noter l'élément en question avec le point d'intégration 1 voir figure 11-12) comme ci-contre :



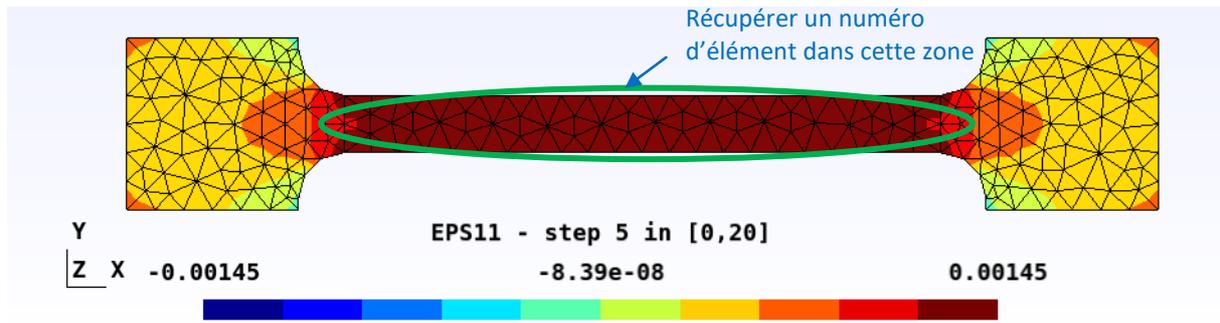


Figure 12: Répartition de la déformation

Ensuite, nous devons choisir un élément dans la zone entourée en vert. En effet, la déformation et la contrainte sont homogènes.

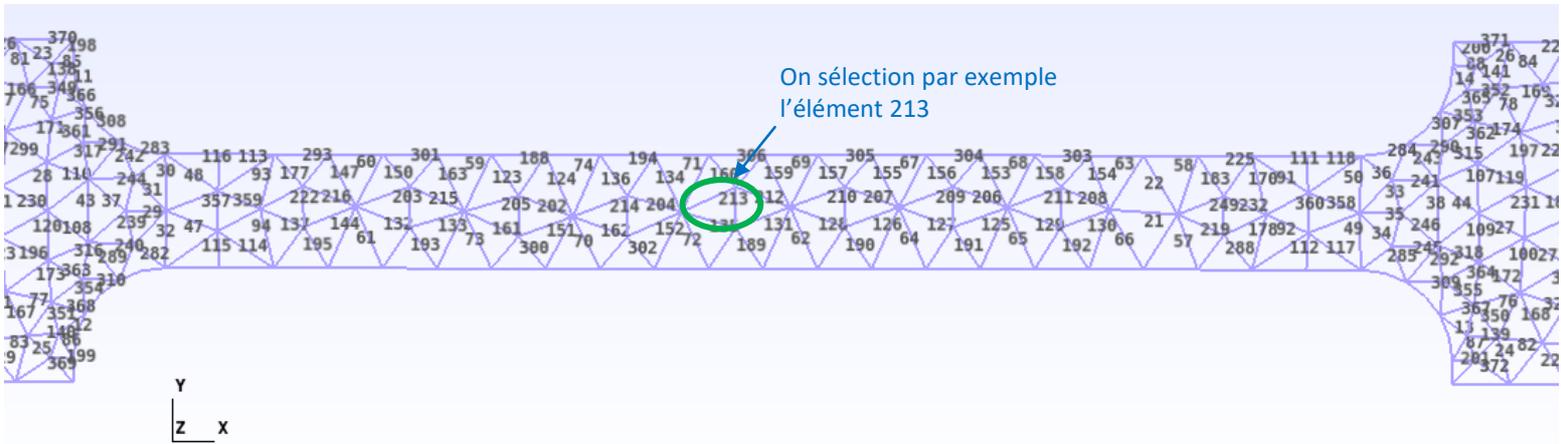


Figure 13: Choix de l'élément

Une fois l'élément choisi nous pouvons créer notre fichier.maple pour récupérer sous forme de tableur notre contrainte et notre déformation liée à l'élément déterminé en fonction du pas de temps du calcul. Veuillez suivre les étapes suivantes :

```

===== 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 default : tous les increments      (rep 1)
choix d'un nombre plus petit d'increment    (rep 2)
reponse ? 1 ← Nous voulons tous les incréments pour tracer la
----- courbe

.....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 ? ele ← Ces grandeurs seront choisies sur un élément

```

```

maillage nb : 1
la liste des grandeurs disponibles est la suivante : SIG11 SIG22 SIG12 EPS1
1 EPS22 EPS12 DEPS11 DEPS22 DEPS12 Green-Lagrange11 Green-Lagrange22 Gre
en-Lagrange12 Almansi11 Almansi22 Almansi12 logarithmique11 logarithmique22
logarithmique12 Cauchy_local11 Cauchy_local22 Cauchy_local12 Almansi_local
11 Almansi_local22 Almansi_local12 Def_principaleI Def_principaleII Sigma_p
rincipaleI Sigma_principaleII Vit_principaleI Vit_principaleII Delta_def11
Delta_def22 Delta_def12 contrainte_mises contrainte_tresca def_duale_mises
def_equivalente def_duale_mises_maxi vitesse_def_equivalente energie_elastiqu
e dissipation_plastique dissipation_visqueuse X2 X1
grandeurs que vous voulez visualiser ( rep : grandeurs?)
REMARQUE : il faut donner uniquement un jeux de ddl
def au meme point d'integration (contraintes/def
ou (exclusif) erreur ou ...)
effacer la liste actuelle ( rep : ef)
(pour terminer tapez : fin (ou f))
grandeur ? SIG11 EPS11 ← On veut notre contrainte et notre
déformation selon x
grandeur ?
grandeur ? f

choix de la position sur le ou les elements ou l'on veut la visualisation
le reperage peut se faire de differentes manieres :
par un numero d'element dans le maillage + un ou plusieurs
numero(s) de pt d'integration (au sens classique) -> (choix : 1)
par des coordonnees d'un point (interne !!), meme approximatives
la grandeur affichee sera a un point le plus proche ou elle existe -> (choix : 2)
par une reference de liste d'element (avec 1 ou tous les pti) -> (choix : 3)
(dans ce dernier cas il faut que tous les elements soient de meme type)
par une reference de liste de point d'integration d'element -> (choix : 4)
donnez le type de choix puis les infos correspondantes
effacer la liste actuelle -> ( rep : ef)
effacer la liste actuelle des references d'elements -> ( rep : efref)
afficher la liste des references d'elements existants -> ( rep : affref)
effacer la liste actuelle des references de pt integ d'element -> ( rep : efrefpti)
afficher la liste des references de pt integ d'elements existants -> ( rep : affrefpti)
(tapez fin pour finir(ou f))

choix ? 1
numero d'element ? 213 ← Numéro de l'élément choisi
numero du point d'integration (ou -1 pour tous les pti de l'element) ? 1 ← Numéro du point d'intégration 1
choix ? f
    
```

```

===== fin module de visualisation par fichiers de points au format maple
===== 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:0/00:00:05.22 system:0/00:00:00.03 reel:0/00:02:14.10

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

En ouvrant ce nouveau fichier on observe cela :

```
#1 2 00      (nombre total d'elements, nombre totale de grandeurs
associees, nombre de grandeurs particulieres, nombre de grandeurs
tensorielles)
# element_48 pt_integ_1:  [2]X  [3]Y  [4] SIG11  [5] EPS11
#
```

Valeur des contraintes selon x dans la colonne 4

Valeur de la déformation selon x dans la colonne 5

Si nous voulons tracer la courbe de la contrainte en fonction de la déformation il faut récupérer ces valeurs. Pour cela, nous pouvons utiliser gnuplot qui est utilisable soit par ligne de codes ou par terminal. L'explication qui suit est sous forme de ligne de code donc vous posséderez un fichier permettant de tracer des courbes facilement. La procédure sur un terminal est pratiquement la même.

```
set terminal pdf enhanced color
set output 'courbe_acier.pdf'

set title "Contrainte en fonction de la déformation de l'acier"

set xlabel "Déformation en %"
set ylabel "Contrainte en MPa"

set key off

plot 'traction_princ.maple' u ($5)*100:($4) w l,
```

Définit le format de sortie sous un pdf en couleur

Nom du fichier de sortie

Titre de la courbe

Titre des axes de la courbe

Le tracé sera avec ligne

Nom du fichier possédant les valeurs

(\$5)*100 => on récupère toutes les données de la colonne multiplié par 100
: => données sur x : données sur y
(\$4) => on récupère toutes les données de la colonne 4

Puis il faut ouvrir un terminal à la racine de ce fichier et exécuter la commande suivante :
« gnuplot nom_fichier.gnu ». Nous obtenons cela :

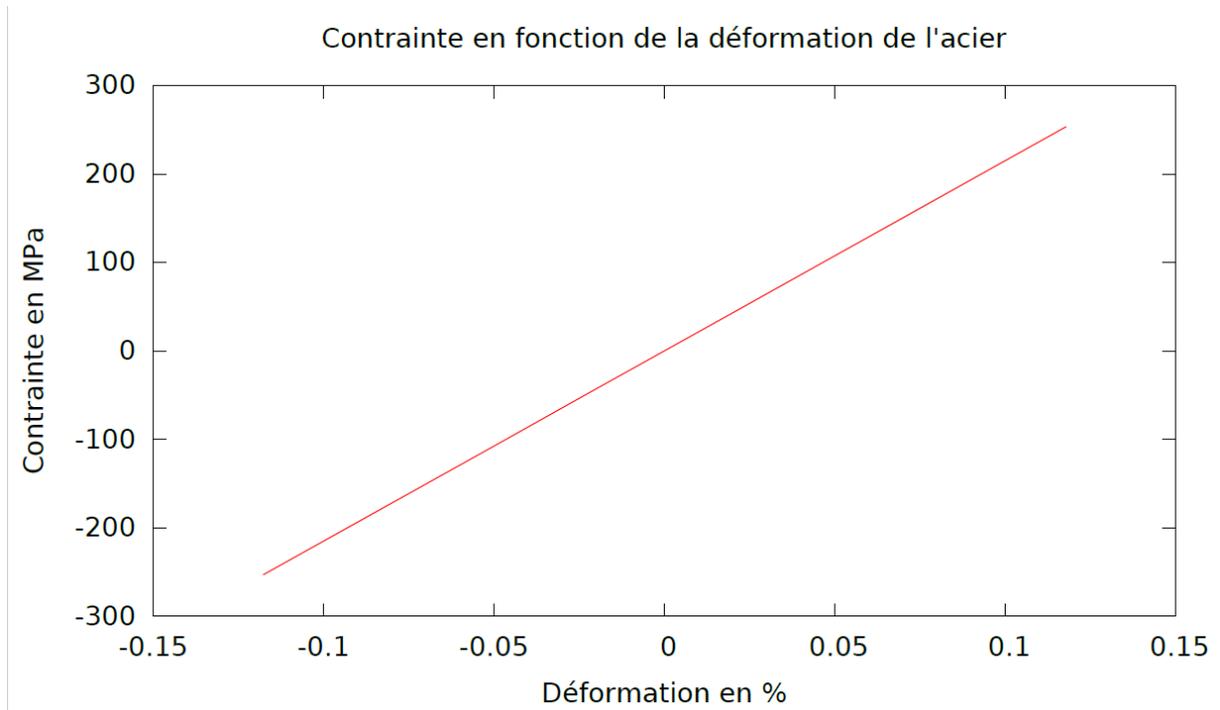


Figure 14: Courbe traction/compression

On observe bien un comportement linéaire, en effet, on utilise une loi de Hooke ($\sigma = E\epsilon$) qui à ce comportement comme ci-contre. De plus, pour une traction notre contrainte et notre déformation est bien positif cependant pour une compression cela est bien négatif.

e) Etude théorique

Retrouvons la valeur de la contrainte selon x par calcul :

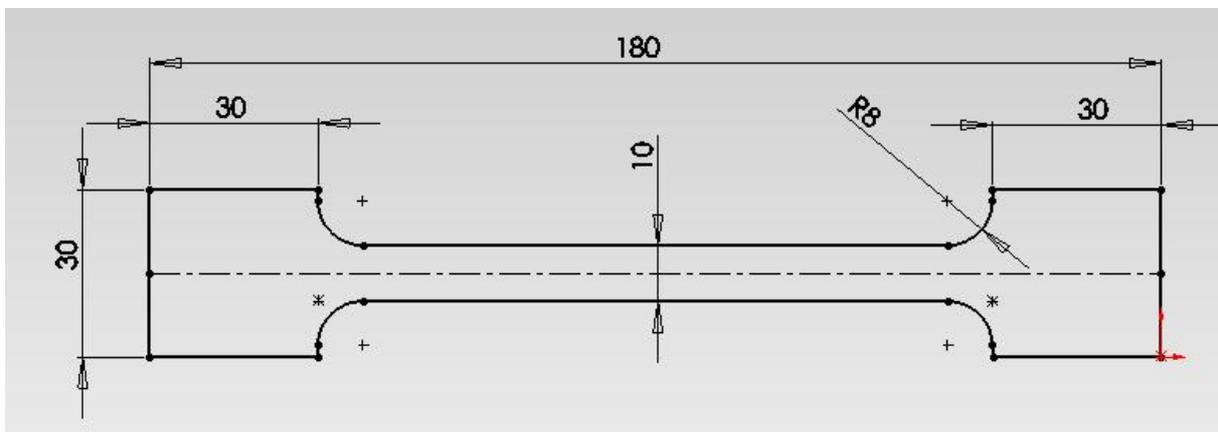


Figure 15: Dimension de l'éprouvette

Éprouvette en acier d'épaisseur 5 mm de module de Young $E=210$ GPa et de coefficient de Poisson $\nu=0,3$.

Dans notre maillage on utilise des triangles quadratiques donc sur chacune des arrêtes du triangle il y a 3 nœuds. Or, notre référence où l'on applique la force possède 6 triangles quadratiques soit 6 arrêtes donc 13 nœuds. Sur chacun de ces nœuds on applique 1000 N soit un effort total de 13 000 N.

Appliquons la formule suivante pour calculer la contrainte en traction (positif) ou en compression (négatif) :

La contrainte maximale sera au milieu de l'éprouvette possédant une largeur de 10 mm et d'épaisseur 5 mm.

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{13\,000}{10 \times 5} = \pm 260 \text{ MPa}$$

```
#element_213 pt_integ_1:
[1]T      [2]X      [3]Y      [4] SIG11    [5] EPS11
2.000000000000e-01  8.763577805087e+01  1.539019442621e+01  5.200771942710e+01  2.476558169148e-04
4.000000000000e-01  8.763519185546e+01  1.539016543982e+01  1.040309188100e+02  4.953853484308e-04
6.000000000000e-01  8.763460504887e+01  1.539013645078e+01  1.560696277476e+02  7.431887354775e-04
8.000000000000e-01  8.763401762982e+01  1.539010745918e+01  2.081238759221e+02  9.910661193869e-04
1.000000000000e+00  8.763342959704e+01  1.539007846508e+01  2.601936930939e+02  1.239017641860e-03 => Contrainte max en traction
1.200000000000e+00  8.763401762984e+01  1.539010745918e+01  2.081238759221e+02  9.910661095561e-04
1.400000000000e+00  8.763460504890e+01  1.539013645078e+01  1.560696246761e+02  7.431887208523e-04
1.600000000000e+00  8.763519185550e+01  1.539016543982e+01  1.040309157401e+02  4.953853338126e-04
1.800000000000e+00  8.763577805090e+01  1.539019442621e+01  5.200771738299e+01  2.476558071822e-04
2.000000000000e+00  8.763636363636e+01  1.539022340982e+01  1.288558251563e-10  1.753708505600e-17
2.200000000000e+00  8.763694861314e+01  1.539025239046e+01  -5.199226592934e+01  -2.475822282914e-04
2.400000000000e+00  8.763753298251e+01  1.539028136786e+01  -1.039691098499e+02  -4.950910178899e-04
2.600000000000e+00  8.763811674571e+01  1.539031034161e+01  -1.559305611271e+02  -7.425265086141e-04
2.800000000000e+00  8.763869990399e+01  1.539033931104e+01  -2.078766490523e+02  -9.89888399303e-04
3.000000000000e+00  8.763928245860e+01  1.539036827504e+01  -2.598074028489e+02  -1.237178150981e-03 => Contrainte max en compression
3.200000000000e+00  8.763869990397e+01  1.539033931103e+01  -2.078766470487e+02  -9.89888303123e-04
3.400000000000e+00  8.763811674568e+01  1.539031034161e+01  -1.559305580755e+02  -7.425264940825e-04
3.600000000000e+00  8.763753298247e+01  1.539028136786e+01  -1.039691067977e+02  -4.950910033546e-04
3.800000000000e+00  8.763694861312e+01  1.539025239046e+01  -5.199226389395e+01  -2.475822185985e-04
4.000000000000e+00  8.763636363636e+01  1.539022340982e+01  -7.289328046839e-11  1.695259937615e-17
```

Notre valeur théorique de 260 MPa concorde avec nos valeurs de simulation. En effet, elles sont toutes deux plus ou moins égale à 260 MPa.

IV) Conclusion

Vous pouvez dès à présent utiliser une courbe de chargement 1D suivant différent cas :

- Pour un effort qui évolue
- Pour un déplacement imposé qui évolue
- Pour une loi dépendant de la température pouvant varier
- Pour une loi dont ces caractéristiques évolue

De plus, vous pouvez récupérer des données liés à des éléments pour ensuite tracer une courbe avec gnuplot.

D'ailleurs, cette étude pouvait être réalisée sur le quart de l'éprouvette. L'utilité de travailler sur le quart est un gain en temps de calcul et de mémoire pour obtenir les mêmes résultats.