

Tutoriel : Les types de force

Mise en place de différents types de chargement
ainsi que l'utilisation de création de référence

Gaëtan ROMAN

16/06/2017

Sommaire

I)	Introduction :	3
II)	Etude.....	3
III)	Première méthode	3
a)	Géométrie de la barre	3
b)	Optimisation du maillage.....	5
c)	Création de références	6
d)	Calcul.....	10
IV)	Les différents types de chargement :	12
a)	Chargement Ponctuel.....	12
b)	Chargement Linéique.....	13
c)	Chargement Volumique.....	14
d)	Chargement Pression.....	15
V)	Deuxième méthodes	16
a)	Géométrie de la barre	16
b)	Optimisation du maillage.....	19
c)	Calcul.....	21
VI)	Comparaisons des types de chargements	23
a)	Ponctuel.....	23
b)	Volumique.....	23
c)	Pression.....	23
VII)	Etude Théorique.....	24
VIII)	Conclusion.....	30

I) Introduction :

Ce document a pour but de mettre en place différents types de chargement. Nous verrons ainsi un chargement de type ponctuel, linéique, volumique et pression. Nous devons aussi créer différents types d'éléments soit via un utilitaire sous Herezh, soit lors de la création de référence du maillage.

II) Etude

L'étude porte sur une barre en 3D de dimension 1000x30x10mm. Elle sera composée d'élément hexaédrique structuré soit :

- 25 éléments selon sa longueur
- 2 éléments selon sa largeur
- 1 élément selon sa hauteur

Cette barre sera soumise à son poids et encastré des 2 côtés. On utilisera une simple loi de Hooke pour réaliser ce calcul.

C'est une barre en acier de caractéristique :

- masse volumique 7800 kg/m³
- E=210 GPa et $\nu=0,3$

Nous étudierons différents types de chargement comme un effort ponctuel, linéique, volumique et de pression dont le but est de retrouver à priori les mêmes résultats.

A travers ce tutoriel nous verrons 2 méthodes pour parvenir aux mêmes résultats. La première méthode consiste à récupérer seulement nos éléments volumiques puis de créer nos différents éléments de référence liés à nos types de forces via l'utilitaire sous Herezh. La deuxième approche est de récupérer tous nos éléments (linéique, surfacique, volumique) donc ainsi générer automatiquement les références associées aux forces.

III) Première méthode

a) Géométrie de la barre

Ouvrir gmsh et créer la barre définie dans la partie 2 (étude). Vous pouvez vous aider du tutoriel suivant : les différents éléments des maillages pour réaliser cette géométrie.

Ci-joint le fichier.geo permettant de réaliser la barre :

```
//+ Définitions des Paramètres
a = DefineNumber[ 1000, Name "Parameters/longueur" ];
b = DefineNumber[ 30, Name "Parameters/largeur" ];
h = DefineNumber[ 10, Name "Parameters/hauteur" ];
ma = DefineNumber[ 4, Name "Parameters/maillage" ];
ta = DefineNumber[ 25, Name "Parameters/tranche_a" ];
tb = DefineNumber[ 2, Name "Parameters/tranche_b" ];
th = DefineNumber[ 1, Name "Parameters/tranche_h" ];
```

← Paramètres de dimension de la barre

← Nombre d'élément sur sa longueur

← Nombre d'élément sur sa largeur

← Nombre d'élément sur sa hauteur

```
//+ Création de la plaque  
Point(1) = {0, 0, 0, ma};
```

← On crée la coordonnée de notre point

```
Extrude {a, 0, 0} {  
  Point{1}; Layers{ta};Recombine;  
}
```

← On extrude notre point. Cela nous crée une ligne dépendant du nombre d'élément sur sa longueur

```
Extrude {0, b, 0} {  
  Line{1}; Layers{tb};Recombine;  
}
```

← On extrude notre ligne. Cela nous crée une surface dépendant du nombre d'élément sur sa largeur

```
Extrude {0, 0, h} {  
  Surface{5}; Layers{th};Recombine;  
}
```

← On extrude notre surface. Cela nous crée un volume dépendant du nombre d'élément sur sa hauteur

```
//+ Définition des références  
Physical Surface("blocage_gauche") = {26};  
Physical Surface("force") = {27};  
Physical Surface("blocage_droit") = {18};  
Physical Volume("Volume") = {1};
```

← On défini nos références de blocage et de force

← Permet de récupérer nos éléments hexaédriques sous msh2her.pl

On utilise un maillage en 3D d'ordre 2 et nous observons cela :

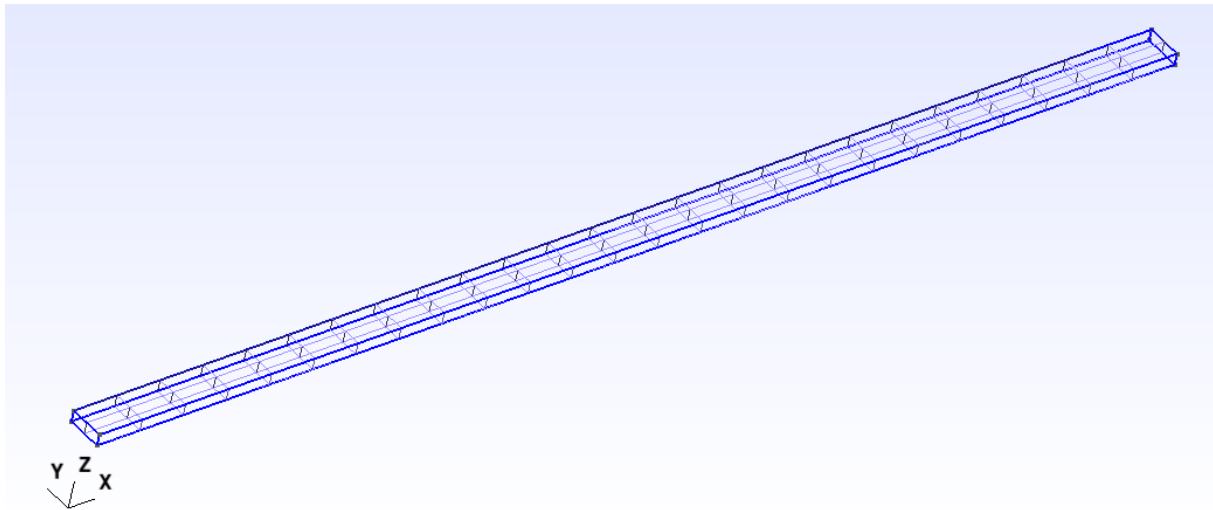


Figure 1: Géométrie de la barre

Une fois ce maillage sauvegardé, il est possible de le récupérer en format her via msh2her.pl avec la commande suivante « msh2her.pl nom_fichier.msh » sur votre terminal à la racine de vos fichiers. On conserve seulement nos éléments hexaédriques quadratiques avec 27 points d'intégrations sinon l'élément est sous-intégré (risque de divergence lors du calcul si les points d'intégration sont conservés par défaut).

Puis sous hz_visuMail.pl il vous est possible de visualiser votre maillage et vos différentes références défini comme ci-contre :

N_SURFACE_blocage_gauche

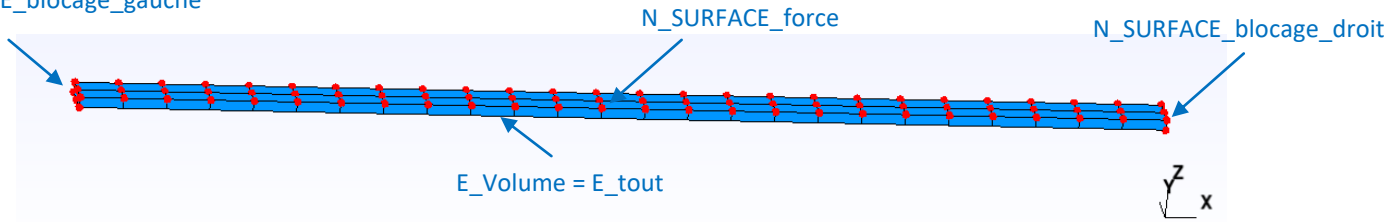


Figure 2: Maillage de la barre

b) Optimisation du maillage

Avant de faire tout calcul, il est nécessaire d'optimiser notre maillage pour gagner en temps de calcul et de place en mémoire. Pour cela, nous devons supprimer nos éléments non référencés, fusionner nos nœuds proches, fusionner nos éléments superposés et renuméroter nos nœuds. Voici le fichier.info permettant cette optimisation :

```
#-----
# 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 5 ← Niveau de commentaire par défaut 3

#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL

utilitaires avec plus sauveMaillagesEnCours

#-----
#| definition du (ou des) maillage(s) |
#-----
nom_maillage poutre_opti # nom du maillage
noeuds ----- # definition des noeuds
0 NOEUDS # definition du nombre de noeuds
elements -----
0 ELEMENTS # definition du nombre d'elements

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

suppression_noeud_non_references_
fusion_noeuds_proches_ 0.01 ← Paramètres permettant d'optimiser notre maillage
fusion_elements_superposes_
renumerotation_des_noeuds_

fusion_avec_le_maillage_precedent_ ← 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

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

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)

Nom du nouveau maillage contenant nos nœuds et les éléments ainsi que les références associés

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

```

choix_materiaux -----
#-----
# Elements | Nom Materiau |
#-----
E_tout acier ← On définit sur tous nos éléments une loi de nom acier

materiaux #-----
#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
acier ISOELAS ← Loi de Hooke
# ..... loi de comportement isoelastique 3D, contraintes planes .....
# module d'young : coefficient de poisson
210000 0.3 ← Paramètre 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) -----
masse_volumique #-----#
E_tout 1. ← On la masse volumique cependant elle n'est pas prise
en compte pour ce calcul
charges #-----#
blocages #-----# ← Mots clés attendus

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

_fin_point_info_

```

Exécuter ce fichier avec la commande « HZppfast64 -f nom_fichier.info » sur un terminal à la racine de vos fichiers pour pouvoir optimiser votre maillage.

c) Création de références

Nous allons créer de nouvelles références. En effet, notre maillage ne possède que des références de nœuds ou d'éléments donc en fonction du chargement, la force ne peut être appliquée.

Rappel :

- Un effort ponctuel nécessite une référence de nœud
- Un effort linéique nécessite une référence d'arrête
- Un effort volumique nécessite une référence d'élément
- Un effort de pression nécessite une référence de face

Pour créer ces différentes références il suffit d'utiliser un utilitaire sous Herezh permettant de créer ces références. Nous allons donc voir ensemble la mise en donnée et comment obtenir ces références dont nous avons l'utilité.

```

#-----
# 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 par défaut 3

#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL
                                ← Utilitaire permettant la création de nouvelle
                                référence

informations avec plus creation_reference

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

# -- def maillage
< poutre_opti.her ← Insertion du maillage optimisé
< poutre_opti.lis

#=====
#| definition des lois de comportement|
#-----
choix_materiaux -----
#-----
# Elements | Nom Materiau |
#-----
E_tout essai ← Nom de la loi du matériau
materiaux #-----

#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
essai LOI_RIEN3D ← Utilisation d'une loi qui ne fait rien
# ..... loi de comportement Loi_rien3D.....
#----- fin def des lois de comportement -
-----

# --- divers stockages (1) -----
masse_volumique #-----#
E_tout 1 ← Mots clés attendus

charges #-----#
blocages #-----#

#-----
# nom du maillage | Ref noeud | Blocages
#-----
# -----
-----
resultats pas_de_sortie_finale_
COPIE 0
#

_fin_point_info_

```

Lors de l'exécution de ce fichier.info sous un terminal le menu suivant apparait à votre écran :

```
=====
|          creation interactive de references          |
=====
il y a 1 maillages a considerer
                                                    Possibilité de créer des références
                                                    de nœuds, d'arrêtes, d'éléments
                                                    etc...
ref de noeuds                (rep no)
ref d'elements              (rep el)
ref de faces                (rep fa)
ref d'arretes              (rep ar)
ref de pt d'integration d'element (rep pt)
toutes les ref de frontiere (rep tfr)
effacer la liste actuelle   (rep ef)
fin def des types de ref voulu (rep f)
reponses : (il peut y en avoir plusieurs differentes)  ar fa
                                                    On veut créer la même référence
                                                    se trouvant au même endroit pour
                                                    une arrête et une face
type actuellement enregistre ar
ref de noeuds                (rep no)
ref d'elements              (rep el)
ref de faces                (rep fa)
ref d'arretes              (rep ar)
ref de pt d'integration d'element (rep pt)
toutes les ref de frontiere (rep tfr)
effacer la liste actuelle   (rep ef)
fin def des types de ref voulu (rep f)
reponses : (il peut y en avoir plusieurs differentes)
type actuellement enregistre ar fa
ref de noeuds                (rep no)
ref d'elements              (rep el)
ref de faces                (rep fa)
ref d'arretes              (rep ar)
ref de pt d'integration d'element (rep pt)
toutes les ref de frontiere (rep tfr)
effacer la liste actuelle   (rep ef)
fin def des types de ref voulu (rep f)
reponses : (il peut y en avoir plusieurs differentes)  f
---- acquisition des noms de references ----
liste de nom de reference actuellement enregistre
nom de la reference d'arrete ? force
                                                    On nomme ces nouvelles
                                                    références
nom de la reference de face ? force
voulez vous
effacer la liste actuelle et recommencer la def des nom (rep efc)
fin (rep f)
f
```



```

pres d'un plan           Plusieurs options s'offre à vous      (rep pres_plan)
d'un cote du plan       pour récupérer nos références      (rep cote_plan)
entre deux plans //    (rep entre_plans)
pres d'un cylindre     (rep pres_cylindre)
a l'interieur d'un cylindre (rep in_cylindre)
a l'exterieur cylindre (rep ex_cylindre)
entre deux cylindres // (rep entre_cylindres)
pres d'une sphere     (rep pres_sphere)
dans une sphere       (rep in_sphere)
a l'exterieur d'une sphere (rep ex_sphere)
entre deux spheres concentriques (rep entre_spheres)
pres d'un point      (rep pres_point)
pres d'une droite    (rep pres_droite)
pres d'un cercle     (rep pres_cercle)
addition d'une ref deja existante (rep in_ref)
hors une ref déjà existante (rep out_ref)
ordonner N et ptint / project sur une droite (rep ord_droite )
effacer la liste des methode (rep ef)
fin def methodes (rep f)
reponses : (il peut y en avoir plusieurs )
entre_plans ← Cette référence sera déterminée
                entre 2 plans parallèles

pres d'un plan           (rep pres_plan)
d'un cote du plan       (rep cote_plan)
entre deux plans //    (rep entre_plans)
pres d'un cylindre     (rep pres_cylindre)
a l'interieur d'un cylindre (rep in_cylindre)
a l'exterieur cylindre (rep ex_cylindre)
entre deux cylindres // (rep entre_cylindres)
pres d'une sphere     (rep pres_sphere)
dans une sphere       (rep in_sphere)
a l'exterieur d'une sphere (rep ex_sphere)
entre deux spheres concentriques (rep entre_spheres)
pres d'un point      (rep pres_point)
pres d'une droite    (rep pres_droite)
pres d'un cercle     (rep pres_cercle)
addition d'une ref deja existante (rep in_ref)
hors une ref déjà existante (rep out_ref)
ordonner N et ptint / project sur une droite (rep ord_droite )
effacer la liste des methode (rep ef)
fin def methodes (rep f)
(pour info: list actuellement enreg: entre_plans )
reponses : (il peut y en avoir plusieurs )
f

```

```
-- condition : entre deux plans // ---
coordonnee d'un point du premier plan (3 reels)
-1 0 9.5 ← On défini la coordonnée du point du premier plan en
           fonction de la géométrie de la barre

coordonnees de la normale du premier plan (3 reels)
0 0 1 ← On défini la coordonnée du point du premier plan en
        fonction de la géométrie de la barre

coordonnees d'un point du second plan (3 reels)
-1 0 10.5 ← On défini la coordonnée du point du second plan en fonction de la géométrie de la barre. Cela
            va représenter la distance entre ces 2 plans ainsi nos références sera entre ces 2 plans

enregistrement ref aretes A_force de 200 item
                                                    Voici nos nouvelles références créés
enregistrement ref faces F_force de 50 item

fin def reference ? (rep f)
(or n'importe quoi d'autre si l'on veut continuer )
f

temps_user:0/00:00:00.02 system:0/00:00:00.00 reel:0/00:00:40.69

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

Nous pouvons alors visualiser nos nouvelles références comme ci-contre sous hz_visuMail.pl :

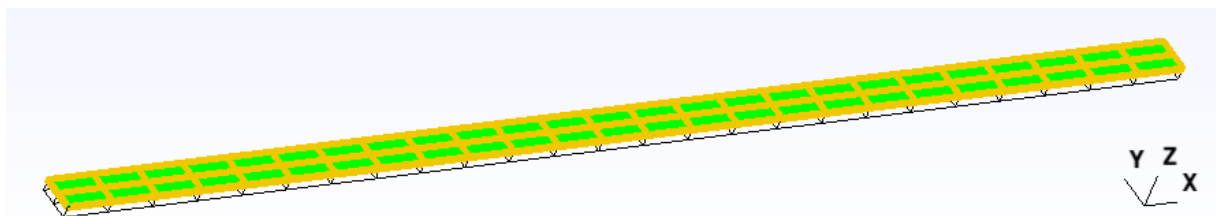


Figure 3: Référence de la barre

En vert, il s'agit de la référence de face et en jaune de la référence d'arrête.

d) Calcul

Nous allons mettre en donnée le fichier.info permettant de répondre à l'étude. Ci-joint le fichier pouvant vous aider :

```
#-----
# 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 par défaut 3
```

```

#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL
non_dynamique avec plus visualisation
#-----
#| definition du (ou des) maillage(s) |
#-----

# -- def maillage
< poutre_opti.her
< poutre_opti.lis

#=====
#| definition des lois de comportement|
#-----
choix_materiaux -----
#-----
# Elements | Nom Matériau |
#-----
E_tout acier
materiaux #-----

#-----
# Nom Matériau | Type loi |
#-----
acier ISOELAS
# ..... loi de comportement isoelastique 3D, contraintes planes .....
# module d'young : coefficient de poisson
210000 0.3
# -- definition du type de deformation (par defaut:
DEFORMATION_STANDART) --
type_de_deformation DEFORMATION_STANDART
#----- fin def des lois de comportement -
#-----

# --- divers stockages (1) -----
masse_volumique #-----#
E_tout 1
charges #-----#
#N_SURFACE_force PONCTUELLE 0 0 -0.09004 # fp=f/nombre_noeuds_de_la_ref
#A_force LINEIQUE 0 0 -4.175e-3 # fl=f/longueur_arrete_de_la_ref
#F_force PRESSION 7.653e-4 # P=f/Section_de_la_ref
#E_tout VOLUMIQUE 0 0 -7.653e-5 # V=f/Volume_de_la_ref
blocages #-----#
#-----
# nom du maillage | Ref noeud | Blocages
#-----
N_SURFACE_blocage_droit UX UY UZ
N_SURFACE_blocage_gauche UX UY UZ

```

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

Calcul de type non dynamique

Permet de créer le fichier.Cvisu en fin de calcul contenant ce que nous voulons visualiser

On insère notre maillage optimisé

Sur tous nos éléments on définit le nom de la loi

Loi de Hooke en contrainte plane pour des éléments surfaciques

Insertion des paramètres de l'acier

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

Sélection du type de force pour cela enlever le # (signifie un commentaire) sur uniquement un seul effort puis faire le calcul

On encastre nos nœuds de droite et de gauche

```

controle #-----
#-----
# PARAMETRE| VALEUR|
#-----
SAUVEGARDE 1
DELTAtMAXI 0.1
TEMPSFIN 1.
DELTAt 0.1
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 borne notre pas de temps
Notre calcul se finira au temps 1 soit 10 incréments
Pas de temps de 0,1s
Si itérations supérieur à 16 alors il n'y a pas de convergence
Précision sur les résultats du calcul

En sortie de résultat récupérer la déformée de la barre ainsi que les efforts internes et externes aux nœuds (FORCE_GENE_INT (Ponctuel, Pression, Volumique), FORCE_GENE_EXT (Ponctuel), VECT_LINE (Linéique), VECT_REAC_N (Linéique), VECT_PRESSION (Pression), VECT_FORCE_VOLUM (Volumique)) se reporter au tutoriel affichage des efforts internes et externes.

IV) Les différents types de chargement :

Notre barre est encastree des deux côtés puis celle-ci est soumise seulement à son poids. Déterminons la force nécessaire pour simuler cet effort :

$$m = Volume \times \rho = 1000 \times 30 \times 10 \times 7800 \times 10^{-9} = 2,34 \text{ kg}$$

Soit un effort de :

$$f = m \times g = 2,34 \times 9,81 = 22,96 \text{ N}$$

a) Chargement Ponctuel

Un chargement ponctuel est défini par une référence de nœud. De plus, chaque nœud possèdera le même effort donc un effort total équivalent à la somme des efforts de chaque nœud de la référence.

Pour pouvoir appliquer sur notre barre un effort équivalent à son poids il suffit de calculer l'effort qui s'applique sur un seul nœud de la référence.

Notre référence possède 255 nœuds donc sachant que le poids de la poutre est de 22,96 N on obtient :

$$fp = \frac{22,96}{255} = 0,09004 \text{ N par noeud}$$

Il suffit d'appliquer cet effort selon z pour simuler le poids de la barre nous observons ainsi ces résultats :

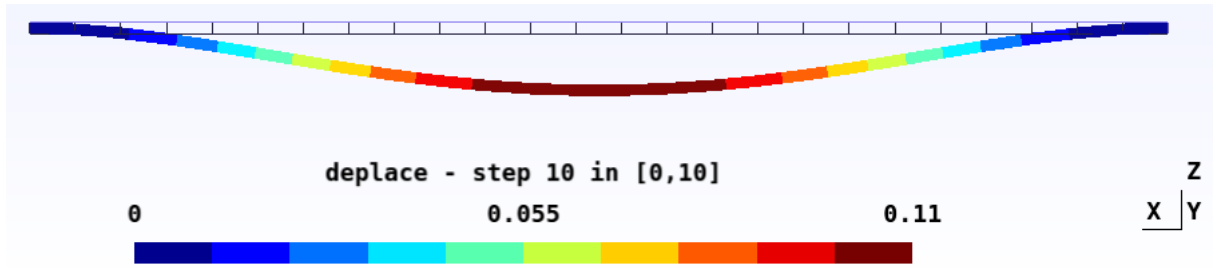


Figure 4: Flèche de la barre

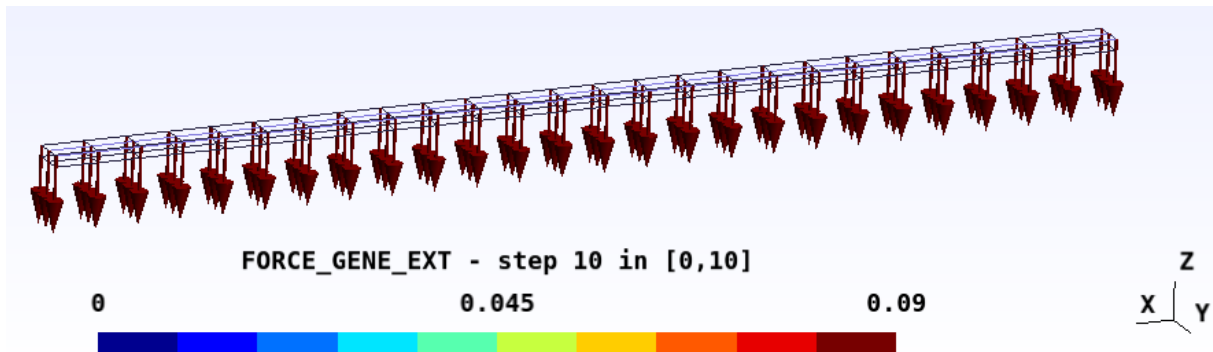


Figure 5: Efforts externes

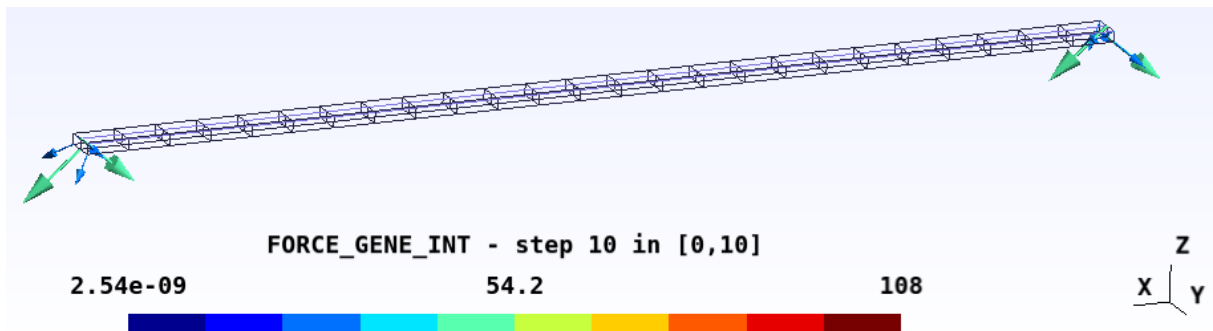


Figure 6: Efforts internes

On remarque une flèche maxi de 0,110 mm lorsque celle-ci est soumise à son poids. De plus, sur chacun de nos nœuds nous appliquons bien 0,09 N vers le bas. On observe aussi des moments vers nos encastremets.

b) 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 barre un effort équivalent à son poids il suffit de calculer l'effort qui s'applique sur la référence d'arrête par unité de longueur.

Notre référence d'arrête possède 4 arrêtes de 1000 mm (avec celle du milieu qui est doublée) selon sa longueur et 26 arrêtes (+24 arrête doublée sauf aux extrémités de la barre) selon sa largeur donc sachant que le poids de la poutre est de 22,96 N on obtient :

$$fp = \frac{22,96}{4 \times 1000 + 26 \times 30 + 24 \times 30} = 4,175 \times 10^{-3} \text{ N par unité de longueur}$$

Il suffit d'appliquer cet effort selon z pour simuler le poids de la barre nous observons ainsi ces résultats :

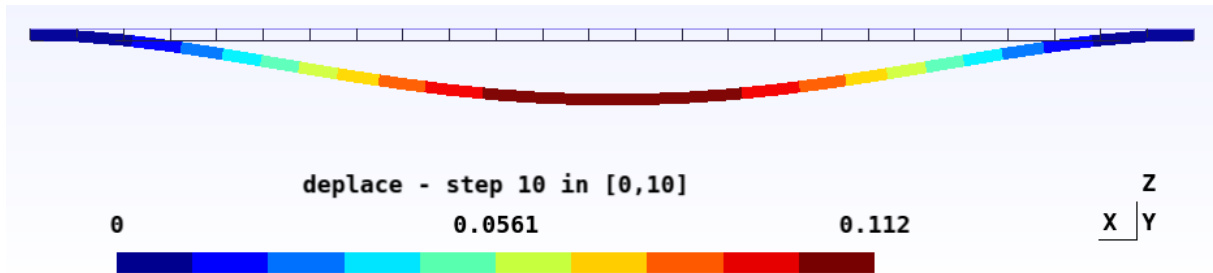


Figure 7: Flèche de la barre

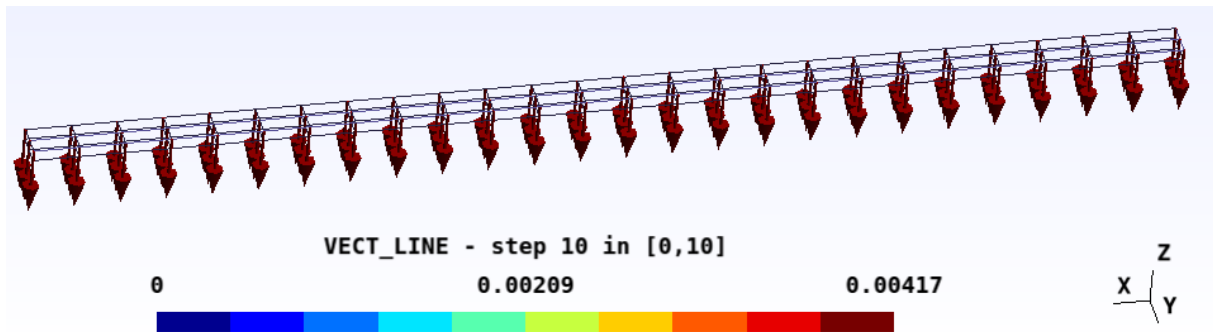


Figure 8: Efforts externes

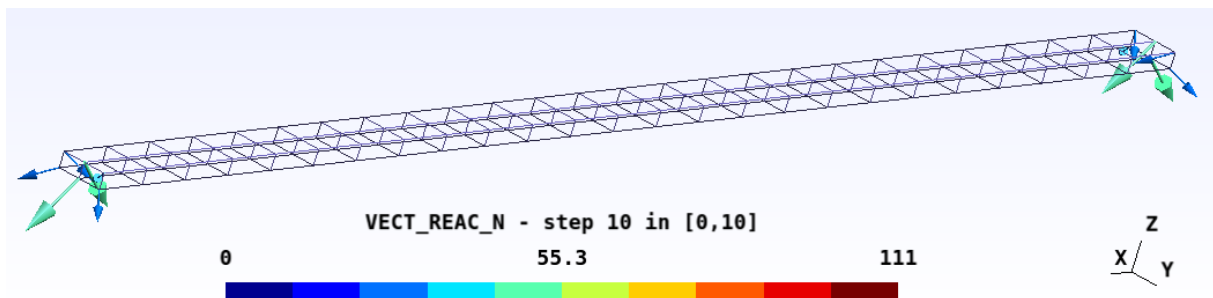


Figure 9: Efforts internes

On remarque une flèche maxi de 0,112 mm lorsque celle-ci est soumise à son poids. De plus, par unité de longueur nous appliquons bien effort de 0,00417N vers le bas. On observe aussi des moments vers nos encastements

c) Chargement Volumique

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

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

Notre barre est de dimension 1000x30x10 mm donc sachant que le poids de la poutre est de 22,96 N on obtient :

$$fp = \frac{22,96}{1000 \times 30 \times 10} = 7,653 \times 10^{-5} \text{ N par unité de volume}$$

Il suffit d'appliquer cet effort selon z pour simuler le poids de la barre nous observons ainsi ces résultats :

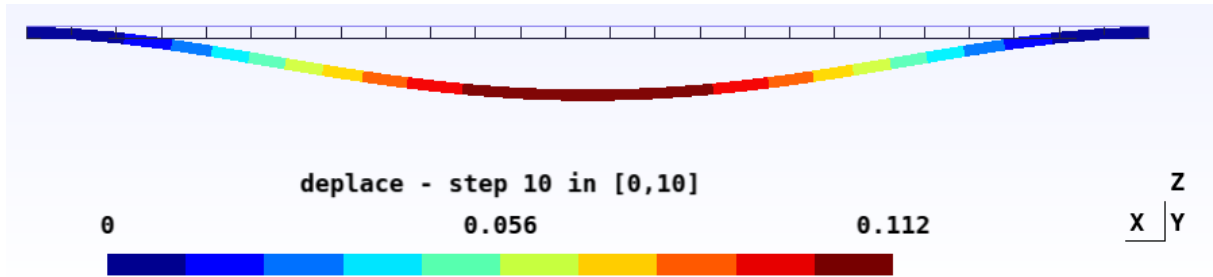


Figure 10: Flèche de la barre

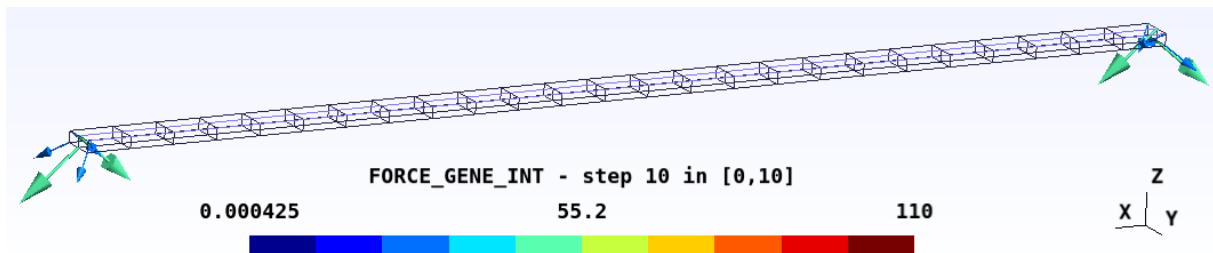


Figure 11: Efforts internes

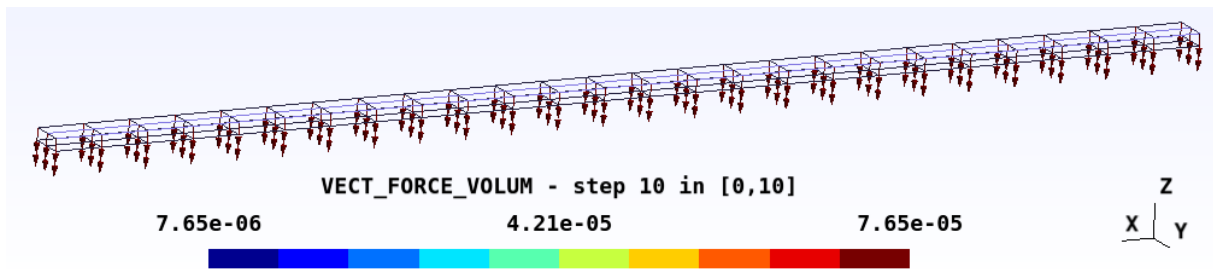


Figure 12: Efforts externes

On remarque une flèche maxi de 0,112 mm lorsque celle-ci est soumise à son poids. De plus, par unité de volume nous appliquons bien effort de $7,65e^{-5}$ N vers le bas. On observe aussi des moments vers nos encastremets

d) Chargement Pression

Un chargement de pression est défini par une référence de face. Cet effort dépend de la section de la référence de face.

Pour pouvoir appliquer sur notre barre un effort équivalent à son poids il suffit de calculer l'effort qui s'applique sur la référence d'élément par unité de section.

Notre référence de face possède une dimension de 1000x30 mm donc sachant que le poids de la poutre est de 22,96 N on obtient :

$$fp = \frac{22,96}{1000 \times 30} = 7,653 \times 10^{-4} \text{ N par unité de surface}$$

Il suffit d'appliquer cet effort par rapport à la normale de la référence de face (le sens de la pression sous Herezh est inverse à la normale) pour simuler le poids de la barre nous observons ainsi ces résultats :

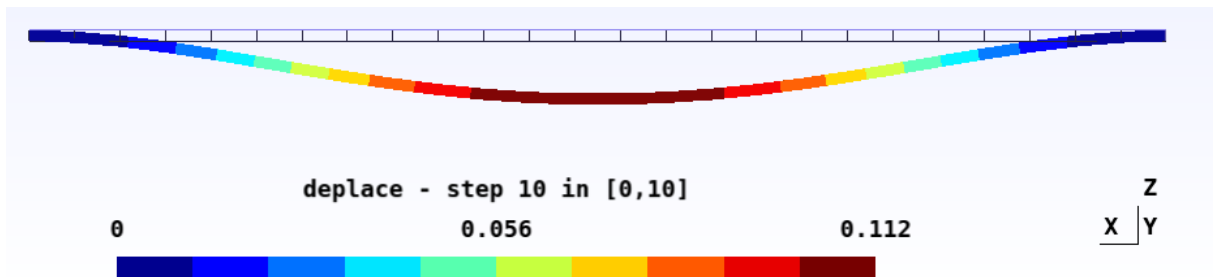


Figure 13: Flèche de la barre

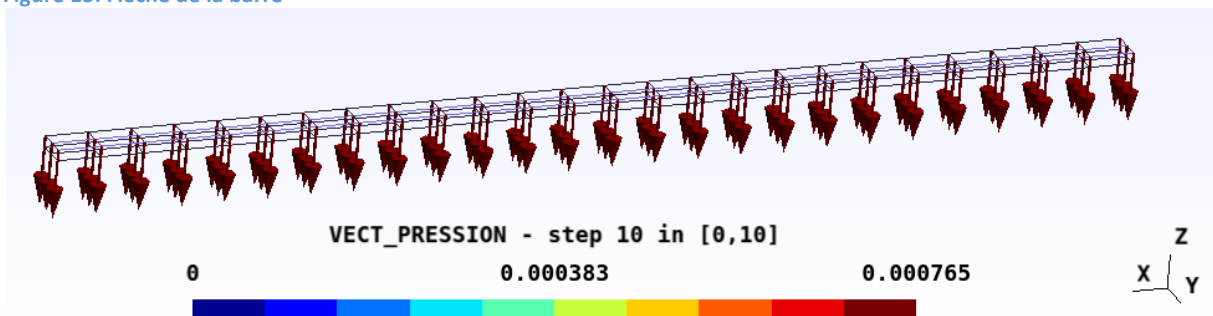


Figure 14: Efforts externes

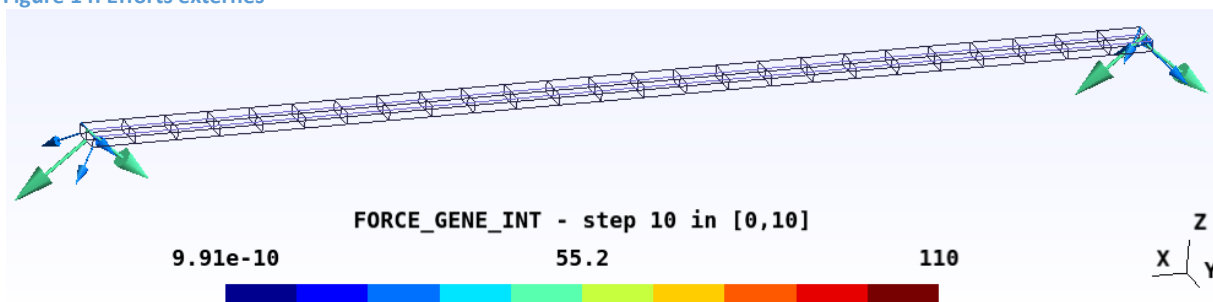


Figure 15: Efforts internes

On remarque une flèche maxi de 0,112 mm lorsque celle-ci est soumise à son poids. De plus, par unité de surface nous appliquons bien effort de 0,000765 N vers le bas. On observe aussi des moments vers nos encastremets

V) Deuxième méthodes

a) Géométrie de la barre

Ouvrir gmsh et créer la barre définie dans la partie 2 (étude).

Ci-joint le fichier.geo permettant de réaliser la barre. C'est exactement le même principe lors de la partie 3 cependant on rajoute d'autres références :

Remarque :

- Une référence de ligne permet d'obtenir une référence d'arrête (chargement ponctuel)
- Une référence de surface permet d'obtenir une référence de face (chargement pression)

- Une référence de volume permet d'obtenir une référence volumique (éléments 3D) (chargement volumique)
- Chaque référence nous crée par défaut une référence de nœuds et une référence d'élément 1D, 2D et 3D

```
//+ Définitions des Paramètres
a = DefineNumber[ 1000, Name "Parameters/longueur" ];
b = DefineNumber[ 30, Name "Parameters/largeur" ];
h = DefineNumber[ 10, Name "Parameters/hauteur" ];
ma = DefineNumber[ 4, Name "Parameters/maillage" ];
ta = DefineNumber[ 25, Name "Parameters/tranche_a" ];
tb = DefineNumber[ 2, Name "Parameters/tranche_b" ];
th = DefineNumber[ 1, Name "Parameters/tranche_h" ];

//+ Création de la plaque
Point(1) = {0, 0, 0, ma};

Extrude {a, 0, 0} {
  Point{1}; Layers{ta};Recombine;
}

Extrude {0, b, 0} {
  Line{1}; Layers{tb};Recombine;
}

Extrude {0, 0, h} {
  Surface{5}; Layers{th};Recombine;
}

//+ Définition des références
Physical Line("line") = {9, 10, 7, 8};
Physical Surface("blocage_gauche") = {26};
Physical Surface("pression") = {27};
Physical Surface("blocage_droit") = {18};
Physical Surface("Surface") = {18,26,27};
Physical Volume("Volume") = {1};
```

Possède nos éléments linéaires dans la référence nommée line

On définit nos blocages et notre effort pour un chargement de type pression et ponctuel

Possède tous nos éléments quadrangles dans la référence nommée Surface

Possède nos éléments hexaédriques dans la référence Volume

Avec cette géométrie on génère un maillage 3D d'ordre 2. Donc en sauvegardant ce maillage nous convertirons ce fichier.msh en fichier.her avec msh2her.pl. Cependant, nous récupérerons seulement nos éléments surfaciques et volumiques d'ordre 2 avec 27 points d'intégrations. Nos éléments linéaires d'ordre 2, nous ne les conserverons pas car ce type d'élément n'est pas lisible par Herezh.

Remarque : En utilisant un maillage 3D d'ordre 1 nous aurons pu tout récupérer et ainsi générer les différentes références sans utiliser d'utilitaire. Hors ici, ayant travaillé dans la première méthode avec des éléments d'ordre 2, il est nécessaire de conserver ce type d'éléments pour pouvoir faire une comparaison des résultats.

Dans les fichiers suivants, il sera mis en commentaire la prise en compte d'un élément linéaire. Si lors d'une de vos études vous avez différents éléments il vous sera possible d'affecter ces modifications.

```

le fichier poutre.her existe deja !
voulez-vous l' ecraser ? (0 ou N ) o

lecture des tags (preparation a la creation des references)
  format de sauvegarde du maillage : msh 2.2
  nombre total de references lus : 6
les references
4 => blocage_droit
6 => Volume
5 => Surface
3 => pression
1 => line
2 => blocage_gauche
lecture des coordonnees des noeuds      nombre total de noeuds lus : 765
lecture des elements      nombre total d'elements lus : 212
nombre d'elements du type segment quadratique a 3 noeuds = 54
nombre d'elements du type quadrangle quadratique complet a 9 noeuds = 108
nombre d'elements du type hexaedre quadratique complet a 27 noeuds = 50
nombre initial d'elements differents 3

=== 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 quadrangle quadratique complet a 9 noeuds (rep o ou n) o
==> ok, on conserve les elements  quadrangle quadratique complet a 9 noeuds

conserver les elements du type hexaedre quadratique complet a 27 noeuds (rep o ou n) o
==> ok, on conserve les elements  hexaedre quadratique complet a 27 noeuds
quadrangle quadratique complet a 9 noeuds: nombre de points d'integration par default 0 ? (rep o/n) o
Pour nos quadrangles on utilise nos points d'integration par default
hexaedre quadratique complet a 27 noeuds: nombre de points d'integration par default 8 ? (rep o/n) n
valeur preconisee parmi: 8 1 27 64 : ? 27
  
```

On supprime nos éléments bielles d'ordre 2

On conserve nos éléments surfaciques d'ordre 2

On conserve nos éléments volumiques d'ordre 2

On utilise 27 points d'intégrations pour nos éléments hexaédriques

Figure 16: Génération du maillage

Sous hz_visuMail.pl en sélectionnant nos références nous obtenons cela :

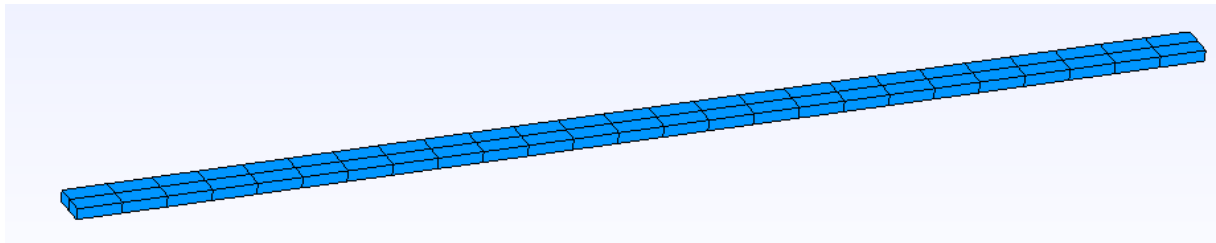


Figure 17: Éléments volumiques d'ordre 2

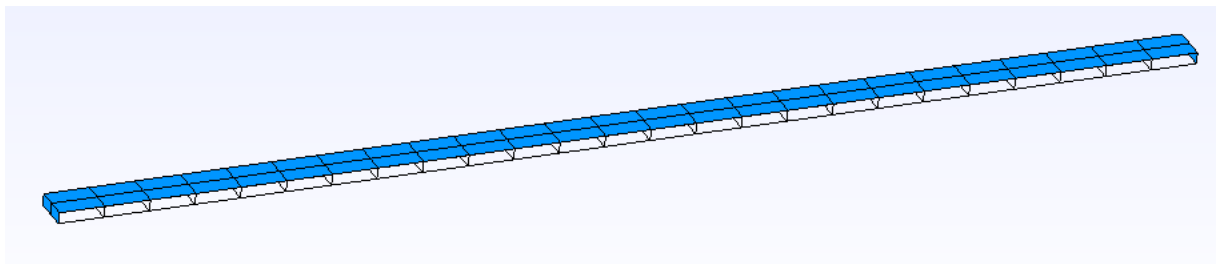


Figure 18: Éléments surfaciques d'ordre 2

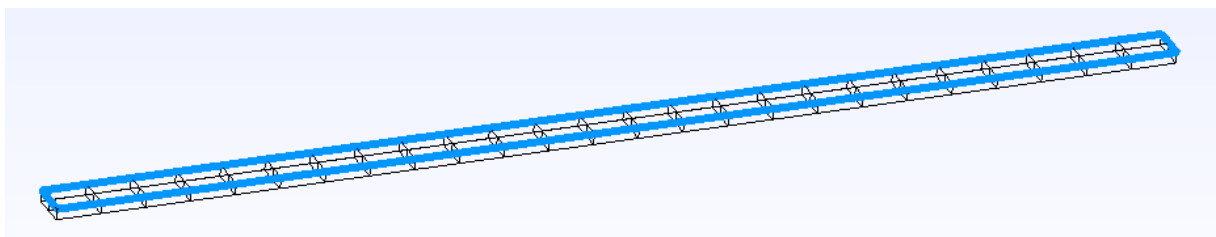


Figure 19: Éléments linéaires d'ordre 1 (dans notre cas ces éléments ne sont pas présents puisqu'ils sont d'ordre 2)

On observe bien nos différents éléments définis lors de la création de la poutre (sauf l'élément linéaire à part si vous utilisez un maillage 3D d'ordre 1 où il vous est possible de tout récupérer). De plus, chacun de ces types d'éléments aura généré une référence d'arrêt, de face et de volume. Il n'y a donc pas d'utilité d'utiliser l'utilitaire de création de référence.

b) Optimisation du maillage

Avant de faire tout calcul, il est nécessaire d'optimiser notre maillage pour gagner en temps de calcul et de place en mémoire. Pour cela, nous devons supprimer nos éléments non référencés, fusionner nos nœuds proches, fusionner nos éléments superposés et renuméroter nos nœuds. Voici le fichier.info permettant cette optimisation :

Remarque : Le principe de fonctionnement du fichier est exactement le même lors de la partie 2-b mais il nécessite quelques modifications (en rouge).

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

#-----
# definition facultative du niveau d'impression (entre 0 et 10) |
#-----
niveau_commentaire      5

#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL

utilitaires avec plus sauveMaillagesEnCours

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

nom_maillage poutre_opti # nom du maillage
noeuds ----- # definition des noeuds
  0 NOEUDS           # definition du nombre de noeuds
  elements -----
  0 ELEMENTS        # definition du nombre d'elements

# -- def maillage
< poutre.her

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_Volume acier
E_Surface acier1
#E_line acier2

materiaux #-----
#-----
# Nom Materiau | Type loi
#-----
acier ISOELAS
# ..... loi de comportement isoelastique 3D, contraintes planes .....
# module d'young : coefficient de poisson
210000 0.3

# -- definition du type de deformation (par defaut:
DEFORMATION_STANDART) --
type_de_deformation DEFORMATION_STANDART

#----- declaration d'une loi qui ne fait rien mecaniquement .....
#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
acier1 LOI_RIEN2D_C

#----- declaration d'une loi qui ne fait rien mecaniquement .....
#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
#acier2 LOI_RIEN1D

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

# --- divers stockages (1) -----
masse_volumique #-----#
E_tout 1
epaisseurs #-----#
E_Surface 1.
#sections #-----#
#E_line 1.

charges #-----#
blocages #-----#

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

```

On crée le nom du matériau associé à nos éléments surfaciques

On crée le nom du matériau associé à nos éléments linéaire. Ici, en commentaire car des éléments linéaires quadratiques ne peut pas être utilisé. Hors, s'il y avait des éléments linéaires d'ordre 1, il faut bien créer le nom du matériau

On utilise une loi 2D qui ne fait rien.

On utilise une loi 1D qui ne fait rien. Mais celle-ci en commentaire car pas d'élément linéaire d'ordre 1

Ces 2 lois sont utiles car pour notre maillage il y a différents éléments. Herezh attend pour chaque type d'éléments une loi de même dimension qui lui est associé

On défini l'épaisseur pour nos éléments 2D

On défini la section pour les éléments 1D s'il y a présence de ces éléments dans le maillage. Ici, en commentaire car non présence de cela.

Exécuter ce fichier avec la commande « HZppfast64 -f nom_fichier.info » sur un terminal à la racine de vos fichiers pour pouvoir optimiser votre maillage.

c) Calcul

Nous allons mettre en donnée le fichier.info permettant de répondre à l'étude. Ci-joint le fichier pouvant vous aider :

Remarque : Ce fichier est pratiquement le même lors de la partie 2-d avec quelques modifications désigné en rouge.

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

#-----
# definition facultative du niveau d'impression (entre 0 et 10) |
#-----
niveau_commentaire      3

#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL

non_dynamique avec plus visualisation

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

# -- def maillage
< poutre_opti.her
< poutre_opti.lis

#=====
#| definition des lois de comportement|
#-----
choix_materiaux -----
#-----
# Elements | Nom   Materiau |
#-----
E_Volume acier
E_Surface acier1
#E_line acier2

materiaux #-----
#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
acier          ISOELAS
# ..... loi de comportement isoelastique 3D, 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

#----- declaration d'une loi qui ne fait rien mecaniquement
.....
```

On crée le nom du matériau associé à nos éléments surfaciques

On crée le nom du matériau associé à nos éléments linéaire. Ici, en commentaire car des éléments linéaires quadratiques ne peut pas être utilisé. Hors, s'il y avait des éléments linéaires d'ordre 1, il faut bien créer le nom du matériau

```

#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
acier1 LOI_RIEN2D_C

```

On utilise une loi 2D qui ne fait rien.

```

#----- declaration dâ€™une loi qui ne fait rien mecaniquement .....
#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
# acier2 LOI_RIEN1D

```

On utilise une loi 1D qui ne fait rien. Mais celle-ci en commentaire car pas d'élément linéaire d'ordre 1

```

#----- fin def des lois de comportement -
-----
# --- divers stockages (1) -----
masse_volumique #-----#
E_tout 1
epaisseurs #-----#
E_Surface 0.01
#sections #-----#
#E_line 0.01

```

Ces 2 lois sont utiles car pour notre maillage il y a différents éléments. Herezh attend pour chaque type d'éléments une loi de même dimension qui lui est associé

On défini l'épaisseur pour nos éléments 2D

On défini la section pour les éléments 1D s'il y a présence de ces éléments dans le maillage. Ici, en commentaire car non présence de ces éléments.

```

charges #-----# # m=2.34kg soit f=mg=22.96N
#N_SURFACE_force PONCTUELLE 0 0 -0.09004 # fp=f/nombre_noeuds_de_la_ref
#A_line LINEIQUE 0 0 -0.01115 # fl=f/longueur_arrete_de_la_ref
#F_pression PRESSION 7.653e-4 # P=f/Section_de_la_ref
E_tout VOLUMIQUE 0 0 -7.653e-5 # V=f/Volume_de_la_ref

```

Pour notre référence d'arrête cette valeur change car seulement le contour est pris en compte. Mais ici nous ne comparerons pas ce type d'effort puisque nous ne pouvons pas calculer avec des éléments 1D d'ordre 2

```

blocages #-----#
#-----
# nom du maillage | Ref noeud | Blocages
#-----
N_SURFACE_blocage_droit UX UY UZ
N_SURFACE_blocage_gauche UX UY UZ

```

```

controle -----
#-----
# PARAMETRE| VALEUR|
#-----
SAUVEGARDE 1
DELTAatMAXI 0.1
TEMPSFIN 1.
DELTAat 0.1
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_

```

VI) Comparaisons des types de chargements

a) Ponctuel

Pour le même effort (0,09004 N par nœuds) lors de la partie 3 nous obtenons la déformée suivante :

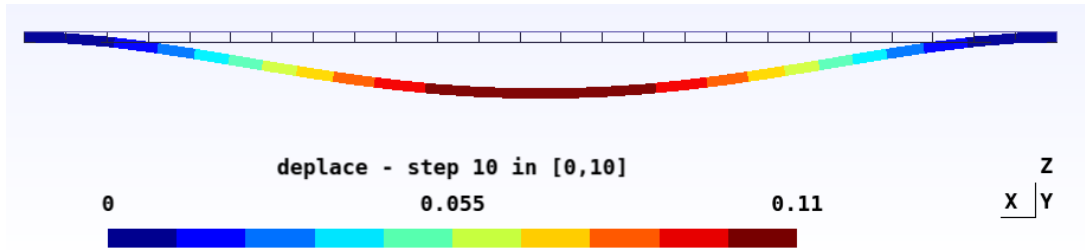


Figure 20: Déformée de la poutre

On observe une flèche de 0,11 N. On retrouve bien le même résultat lors de la première méthode.

b) Volumique

Pour le même effort ($7,653e^{-5}$ N par unité de volume) lors de la partie 3 nous obtenons la déformée suivante :

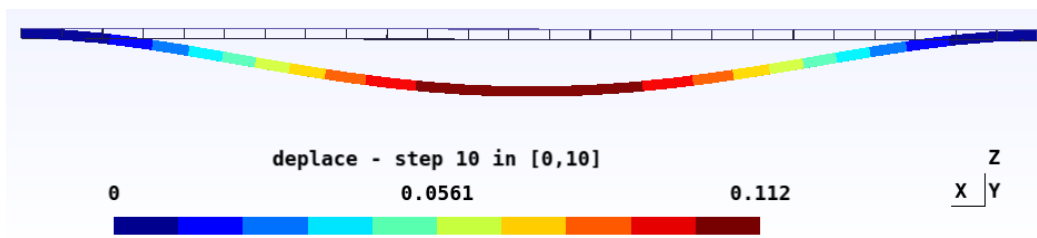


Figure 21: Déformée de la poutre

On observe une flèche de 0,112 N. On retrouve bien le même résultat lors de la première méthode.

c) Pression

Pour le même effort ($7,653e^{-4}$ N par unité de surface) lors de la partie 3 nous obtenons la déformée suivante :

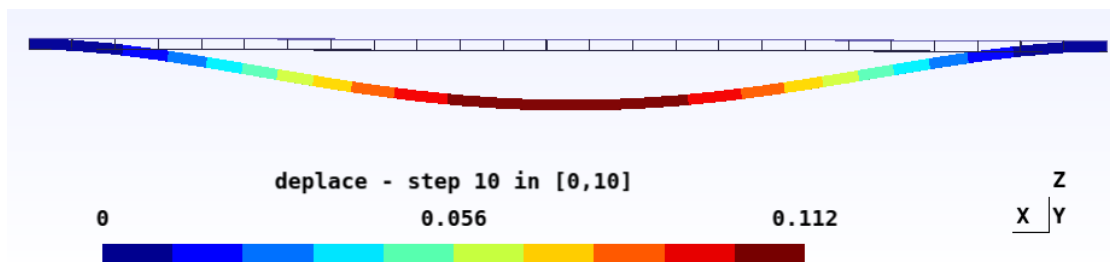


Figure 22: Déformée de la poutre

On observe une flèche de 0,112 N. On retrouve bien le même résultat lors de la première méthode.

VII) Etude Théorique

Retrouvons les résultats précédents avec cette étude théorique :

Plaque de dimension 1000x30x10 mm, encadrée des 2 côtés et soumise à son propre poids (F=22,96 N).

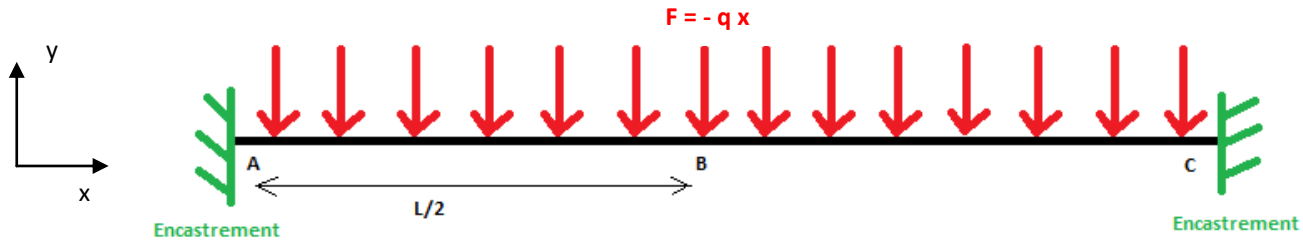


Figure 23: Schéma de calcul

Appliquons le PFS en A :

$$\text{Symétrie } R_{Ay} = R_{Cy}$$

$$R_{Ay} + R_{Cy} - qL = 0 \text{ selon } \vec{y} \Rightarrow R_{Ay} = \frac{qL}{2}$$

$$R_{Cy}L + \int -qx \, dx + M_A + M_B = 0 \text{ selon } \vec{z}$$

Soit un effort normal $N(x)$ et un effort tranchant $V(x)$:

$$N(x) = 0 \text{ et } V(x) = -\frac{qL}{2} + qx$$

Or, la valeur de l'effort tranchant est la dérivé du moment fléchissant par rapport au point x considéré :

$$Mfz(x) = \int -T(x) \, dx$$

$$Mfz(x) = -M_A + \int q\left(\frac{L}{2} - x\right) \, dx$$

$$Mfz(x) = -M_A + \frac{qx}{2}(L - x)$$

D'où notre torseur de cohésion suivant :

$$\{T_{coh}\} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ q\left(\frac{L}{2} - x\right) & 0 \\ 0 & -M_A + \frac{qx}{2}(L - x) \end{pmatrix}$$

Utilisons l'équation de la déformée :

Conditions initiales => $v'(0)=0$ et $v(0)=0$ car plaque encastrée

$$v''(x) = \frac{Mfz(x)}{EI_z}$$

On intègre deux fois pour déterminer la flèche :

$$\begin{aligned} EI_z v''(x) &= -M_A + \frac{qx}{2}(L-x) \\ EI_z v'(x) &= -M_A x + \frac{qLx^2}{4} - \frac{qx^3}{6} + A \\ EI_z v(x) &= \frac{-M_A x^2}{2} + \frac{qLx^3}{12} - \frac{qx^4}{24} + Ax + B \end{aligned}$$

Avec A et B, 2 constantes à déterminer selon nos conditions initiales :

$$A = 0 \text{ et } B = 0 \Rightarrow \text{plaque encastrée}$$

Déterminons le moment maximal en A lorsqu'on se trouve pour $x=L$ (pas de flèche en B) :

$$\begin{aligned} EI_z v(x=L) &= 0 \\ \frac{-M_A L^2}{2} + \frac{qL^4}{12} - \frac{qL^4}{24} &= 0 \end{aligned}$$

$$M_A = \frac{qL^2}{12}$$

On en déduit le moment fléchissant selon z suivant :

$$\begin{aligned} Mfz(x) &= -\frac{qL^2}{12} + \frac{qLx}{2} - \frac{qx^2}{2} \\ Mfz(x) &= -\frac{qL^2}{12} + \frac{6qLx}{12} - \frac{6qx^2}{12} \\ Mfz(x) &= \frac{q}{12}(-L^2 + 6Lx - 6x^2) \\ Mfz(x) &= \frac{q}{2}\left(-\frac{L^2}{6} + Lx - x^2\right) \end{aligned}$$

Déterminons l'équation de la déformée:

On intègre deux fois :

$$\begin{aligned} EI_z v''(x) &= \frac{q}{2}\left(-\frac{L^2}{6} + Lx - x^2\right) \\ EI_z v'(x) &= \frac{q}{2}\left(-\frac{L^2}{6}x + \frac{Lx^2}{2} - \frac{x^3}{3}\right) \\ EI_z v(x) &= \frac{q}{2}\left(-\frac{L^2 x^2}{12} + \frac{Lx^3}{6} - \frac{x^4}{12}\right) \end{aligned}$$

$$EI_z v(x) = \frac{qx^2}{24} (-L^2 + 2Lx - x^2)$$

$$EI_z v(x) = -\frac{qx^2}{24} (x - L)^2$$

Ainsi la flèche est maximale pour $x=L/2$:

$$v(x) = -\frac{12qx^2}{24Ebh^3} (x - L)^2 \text{ avec } b = 30 \text{ mm et } h = 10 \text{ mm}$$

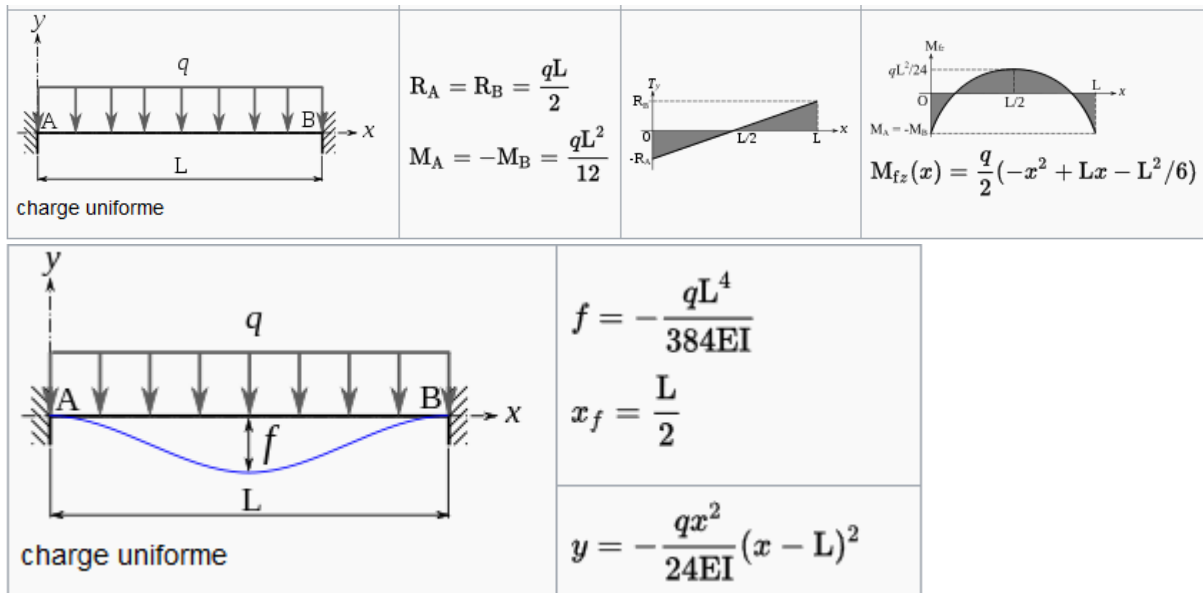
$$v\left(x = \frac{L}{2}\right) = -\frac{12qL^4}{384Ebh^3}$$

Application numérique :

$$v\left(x = \frac{L}{2}\right) = \text{flèche} = -\frac{12 \times \frac{22,96}{1000} \times 1000^4}{384 \times 210\,000 \times 30 \times 10^3} = -0,114 \text{ mm}$$

On obtient une flèche de 0,114 mm :

Récapitulatif :



Pour comparer notre valeur théorique, il faut récupérer la grandeur au nœud selon z. Ce nœud correspond à la moitié de la poutre soit à 500 mm. Comme ci-contre :

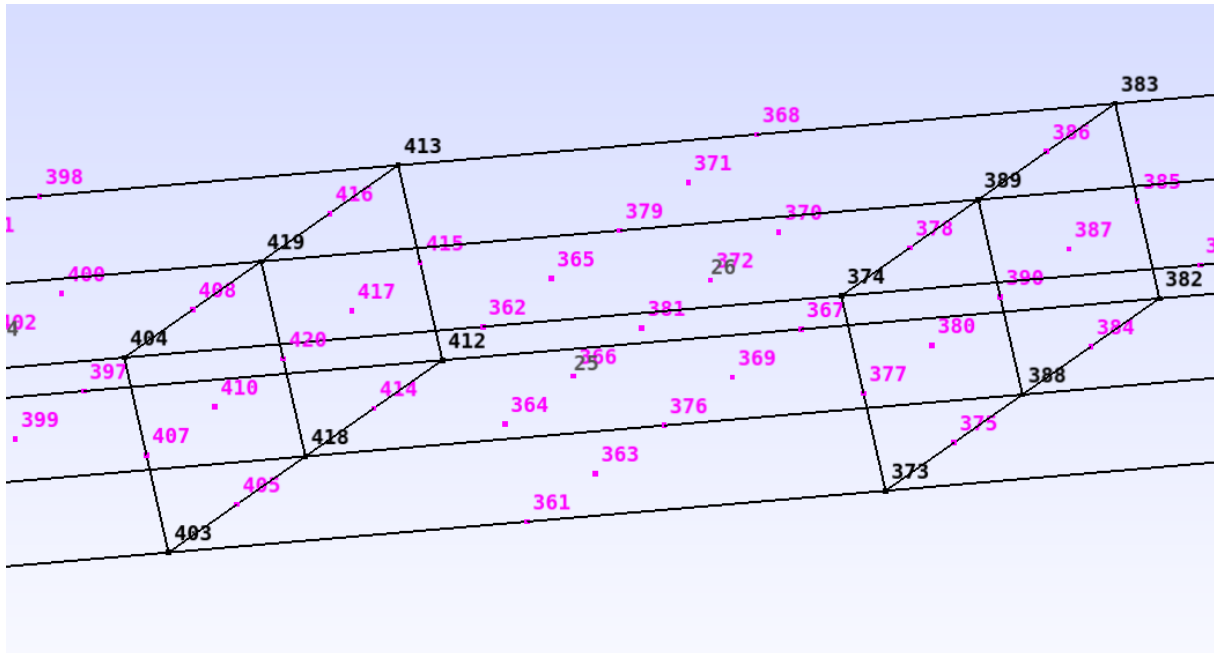


Figure 24: Numérotation des nœuds et éléments

Nos éléments représentant le milieu du maillage est représentés par les éléments 25 et 26. Donc les nœuds possédant la flèche maximale est donnée par les nœuds suivants : 361, 363, 376, 369, 367. Nous utiliserons par exemple le nœud 376.

Ensuite, nous devons créer un fichier.maple permettant de récupérer la grandeur au niveau du nœud 376. Veuillez-suivre les étapes suivante :

Après l'exécution du fichier.info possédant la mise en donnée du calcul avec le paramètre « avec plus visualisation » vous obtenez le menu suivant :

```

===== choix du module de visualisation interactive =====
sauvegarde des commandes de visualisation      ? (rep 1)
visualisation automatique                      ? (rep 2)
visualisation au format vrmf                  ? (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 le choix 4 permettant de créer le 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

.....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 ← Avec cg on choisi nos grandeurs à récupérer

```

```

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 vaeur par defaut -> rep : o
pour arreter les questions -> rep : fin (ou f)
reponse ? noe ← On veut les degres de libertés au noeuds soit noe

maillage nb : 1
la liste des grandeurs disponibles est la suivante : X1 X2 X3 R_X1 R_X2 R_X3
donnez la ou les grandeurs que vous voulez visualiser (rep grandeurs?)
ou toutes les grandeurs sans les reactions (rep : to)
ou toutes les grandeurs (rep : tr)
effacer la liste actuelle (rep : ef)
type de sortie de ddl retenue (rep : ts)
(pour terminer tapez : fin (ou f))
grandeur ? X3 ← La flèche est obtenue selon z soit par X3

grandeur ? f

choix du ou des noeuds ou l'on veut la visualisation
le reperage d'un noeuds peut se faire de differentes manieres :
par son numero dans le maillage -> (choix : 1)
par ses coordonnees, meme approximatives -> (choix : 2)
par une reference de liste de noeuds -> (choix : 3)
donnez pour chaque noeud le type de choix puis le numero
ou les cordonnees
effacer la liste actuelle de noeuds (rep : ef)
effacer la liste actuelle des references de noeuds (rep : ehref)
afficher la liste des references de noeuds existants (rep : affref)
(pour finir tapez : fin (ou f))
choix ? 1 ← On utilise le choix 1 pour désigner le noeud par son numéro
numero ? 376 dans le maillage (376)

choix ? f

```

On sélectionne f jusqu'au menu d'après

```

===== 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 choix avec 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 ? f ← On quitte avec f

temps_user:0/00:00:00.82 system:0/00:00:00.04 reel:0/00:01:07.97

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

```

On exécute à nouveau le calcul puis en ouvrant le nouveau fichier créé (fichier.maple) nous obtenons cela :

```

1.00000000000000e+00
      X                Y                Z                X3
# noeud_376 : 5.000000000000e+02 1.500000000000e+01 -1.120234272483e-01 -1.120234272483e-01

```

On remarque bien pour le nœud 376 selon z (X3) une flèche de 0,112 mm qui correspond approximativement à notre étude théorique (0,114 mm).

VIII) Conclusion

Vous êtes dorénavant capable d'utiliser différents types de chargement en fonction du problème et de pouvoir bien les calculer. On peut remarquer que sur ces 4 types de chargements les résultats observés sont les mêmes avec une légère différence pour l'effort ponctuel. Cela est dû à l'évolution de la force car pour un effort linéique, volumique ou pression celle-ci dépend de la longueur, de la surface voire du volume de la pièce qui peut changer durant le calcul (augmenter ou diminuer). De plus, il vous est possible de créer des références soit via l'utilitaire d'herezh, soit lors de la création de la géométrie du maillage pour un temps de calcul identique et un même résultat final.