

Tutoriel : Patronage

Réalisation d'un patron pour la fabrication d'une structure gonflable ayant la forme d'un ballon de rugby de taille : 7,5m x 3,5m (Durée : 2h)

Gaëtan ROMAN

19/05/2017



Sommaire

I)	Introduction :	3
II)	Démarche du Patronage :	3
a)	Création de la géométrie	3
b)	Maillage de la tranche	6
c)	Calcul	8
d)	Obtention du sous-maillage	12
III)	Dimensionnement	18
a)	Sous-maillage des arrêtes	18
IV)	Conclusion :	21

I) Introduction :

Ce document a pour but d'expliquer les étapes pour parvenir à créer le patron d'une tranche d'un ballon de rugby. Nous utiliserons pour cela un algorithme de relaxation dynamique avec un amortissement cinétique. L'algorithme de relaxation dynamique est une technique principalement utilisée pour des structures souples (câbles, nappes etc ...) permettant la recherche de forme. D'ailleurs ce type d'amortissement est principalement utilisé lors de grands déplacements tout en ayant de faible déformation ce qui est notre cas lors de ce patronage.

Cela nous permettra aussi de prendre en main les nouvelles fonctionnalités d'Herezh. Tel que l'obtention de sous-maillage mais aussi le contrôle de la force via les itérations du calcul.

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

II) Démarche du Patronage :

a) Création de la géométrie

Dans un premier temps nous devons créer la géométrie de la tranche du ballon de rugby. Pour cela nous utiliserons le logiciel gms h pour définir ces dimensions grâce au fichier « .geo ».

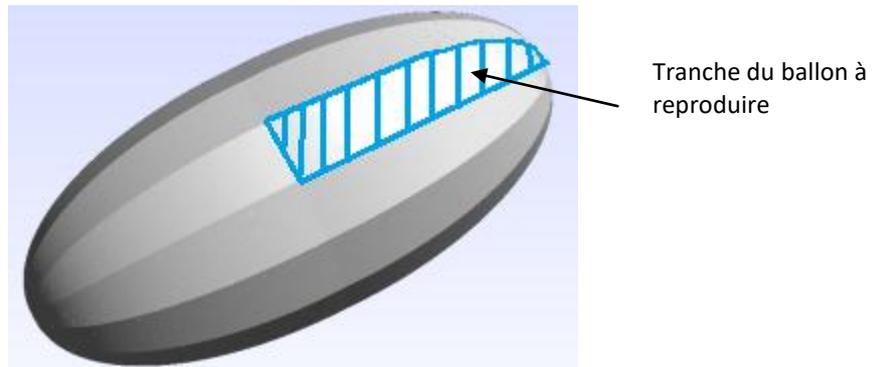


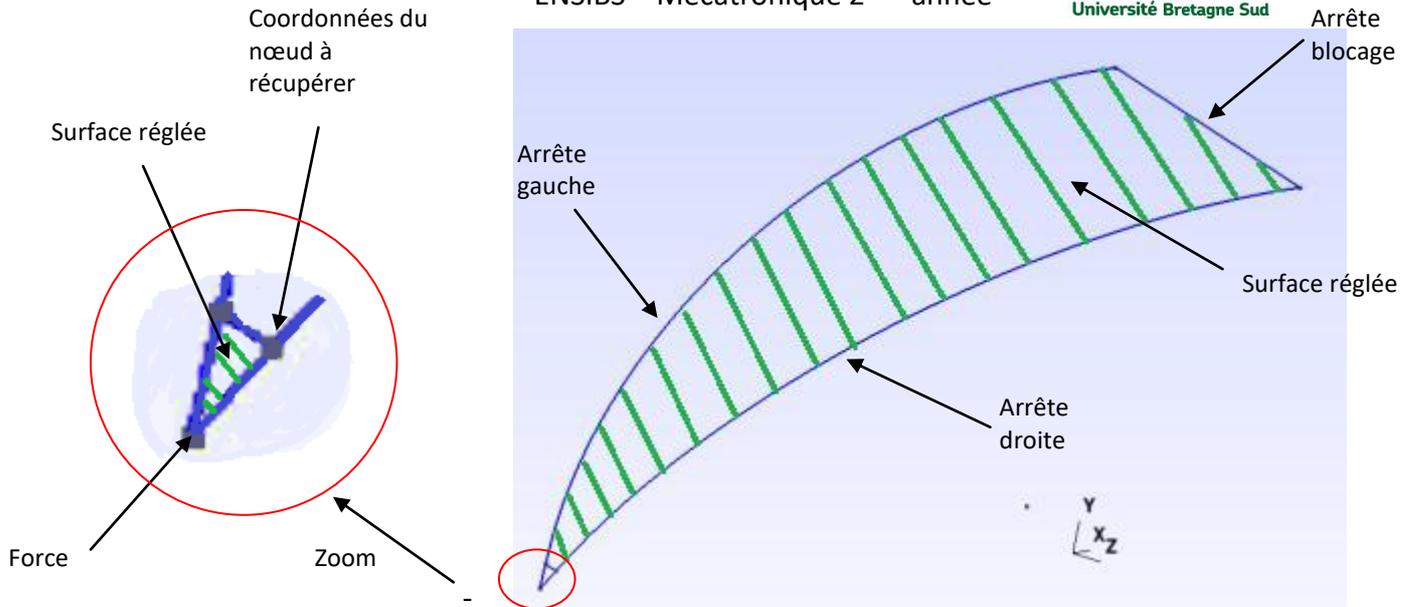
Figure 1: Ballon de rugby

Caractéristiques du ballon de rugby :

- longueur : 7,5 m
- hauteur : 3,5 m
- Espacement des tranches : 30° soit 12 tranches pour une moitié du ballon (24 tranches au total)

Géométrie de la tranche du ballon de rugby ci-dessous (figure 5 : résultat) :

- Faire une symétrie de l'ellipse par une rotation de 30°
- Utiliser de 2 surfaces réglées (Ruled Surface) voir figure 4 (explication)
- Créer les références de lignes (éléments biellettes), de surfaces (éléments triangles) et de nœud
- Utiliser un maillage classique d'ordre 1 (éléments linéaires)



- Figure 2: Tranche du ballon - Aide

Voici le fichier .geo permettant de réaliser cette tranche si besoin :

```

ma=100; //affinage du maillage

// Définition de la tranche du ballon
Point(1) = {0, 0, 0, ma};
Point(2) = {5.999536395342602, 98.95152343731996, 0, ma}; //point
du petit triangle pour ma=100 voir l'astuce ci-dessous
Point(3) = {3750, 1750, 0, ma};
Point(4) = {3750, 0, 0, ma};

Ellipse(1) = {1, 4, 4, 2}; // crée l'ellipse
Ellipse(2) = {2, 4, 4, 3};

Rotate {{1, 0, 0}, {0, 0, 0}, Pi/6} { //rotation de 30°
  Duplicata { Line{2, 1}; }
}

Line(5) = {3, 8};
Line(6) = {2, 5};

// Définition des surfaces réglées
Line Loop(7) = {3, -5, -2, 6};
Ruled Surface(8) = {7};
Line Loop(9) = {4, -6, -1};
Ruled Surface(10) = {9};

//Définition des références
Physical Point("force") = {1};
Physical Line("tranche_droite") = {3, 4};
Physical Line("tranche_gauche") = {2, 1};
Physical Line("blocage") = {5};
Physical Surface("Surface") = {8, 10}; // les 2 surfaces
Physical Line("tranches") = {3, 2, 5, 4, 1}; // toutes les arrêtes

```

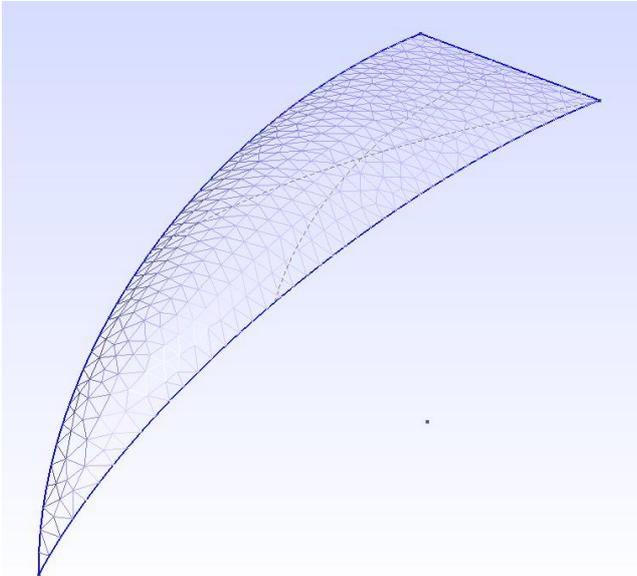


Figure 3: Maillage non réglé

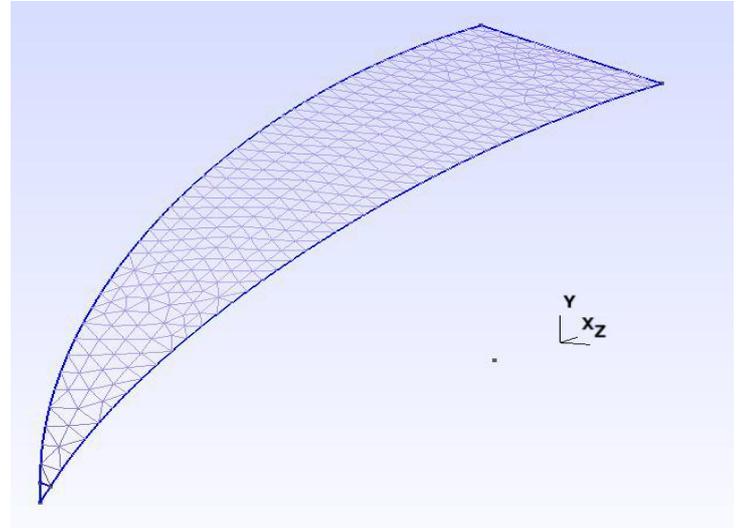


Figure 4: Maillage réglé

Sur la figure 3 il y a qu'une seule surface alors que sur la figure 4 deux surfaces y sont représentés. On observe une différence sur le maillage, la figure 3 possède un maillage bombé malgré l'utilisation d'une surface réglée alors que la surface 4, le maillage réglé est correct. Cette différence s'explique puisqu'un maillage réglé sous gmsh est obtenu seulement entre 4 lignes d'où l'utilisation d'un petit triangle du bas permettant d'obtenir le maillage de la figure 4.

Astuce pour créer le petit triangle : Dans un premier temps faire juste la tranche globale sans le petit triangle du bas. Une fois cela réalisé faire un maillage et récupérer son .her avec msh2her.pl. Puis sous hz_visuMail.pl récupérer le numéro du nœud et retrouver ces coordonnées via le .her. Pour finir insérer la coordonnée de ce nœud dans le fichier .geo. Lors de la création du triangle du bas utilisé aussi une surface réglée.

Légende numérotation :
Surface en rouge
Nœud en gris
Ligne en bleu

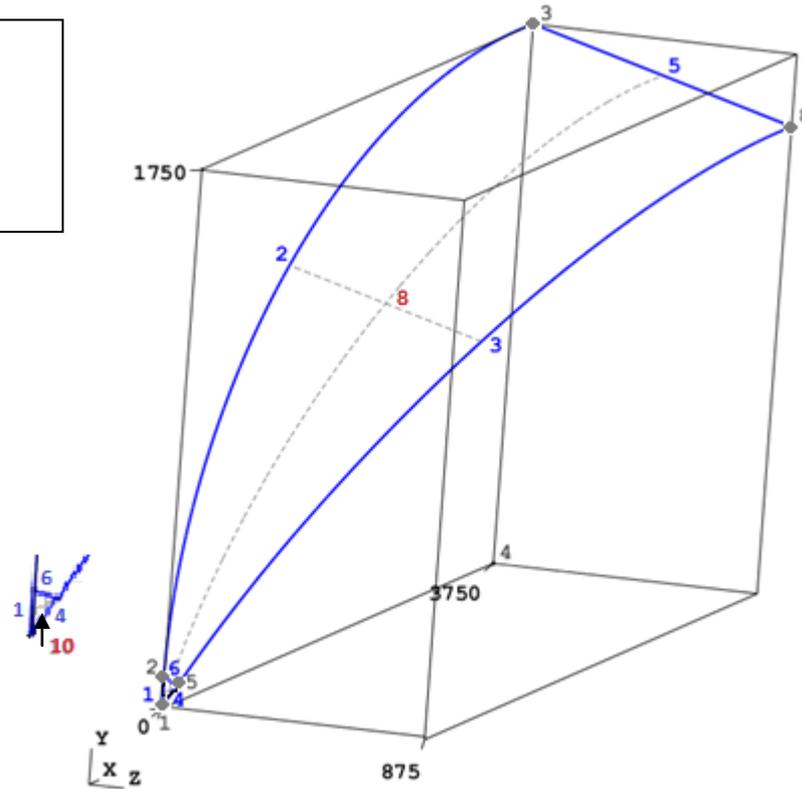


Figure 5: Géométrie de la tranche

b) Maillage de la tranche

L'objectif de cette partie est d'obtenir le maillage. Pour cela il nous faut tous les triangles linéaires pour décrire la surface mais aussi nos segments linéaires qui seront utiles pour le dimensionnement du patron final.

Sous gmsh on crée un maillage 2D d'élément triangle d'ordre 1. Nous obtenons cela (figure 3) :

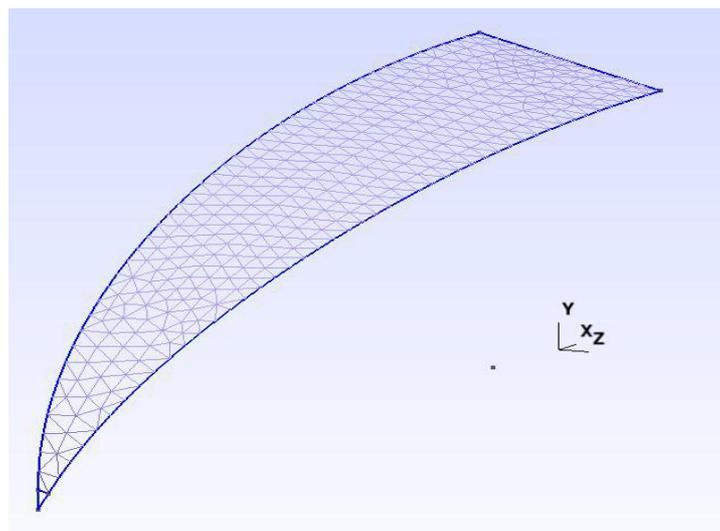


Figure 6: Maillage de la tranche

Sous msh2her, on exécute la commande suivante « *msh2her.pl nom_fichier.msh* » et on obtient cela :

```

=== choix d'elements: voulez-vous ?
conserver les elements du type segment lineaire a 2 noeuds (rep o ou n) o
===> ok, on conserve les elements segment lineaire a 2 noeuds

conserver les elements du type triangle lineaire a 3 noeuds (rep o ou n) o
===> ok, on conserve les elements triangle lineaire a 3 noeuds

conserver les elements du type point a 1 noeud (rep o ou n) n
*** on supprime les elements point a 1 noeud ***
segment lineaire a 2 noeuds: nombre de points d'integration par default 0 ? (rep o/n) o
triangle lineaire a 3 noeuds: nombre de points d'integration par default 0 ? (rep o/n) o
    
```

Figure 7: Visualisation du terminal

Cela nous permet d'obtenir un fichier « .her » qui possède notre maillage et nos références visualisable sous *hz_visuMail.pl* (figure 5).

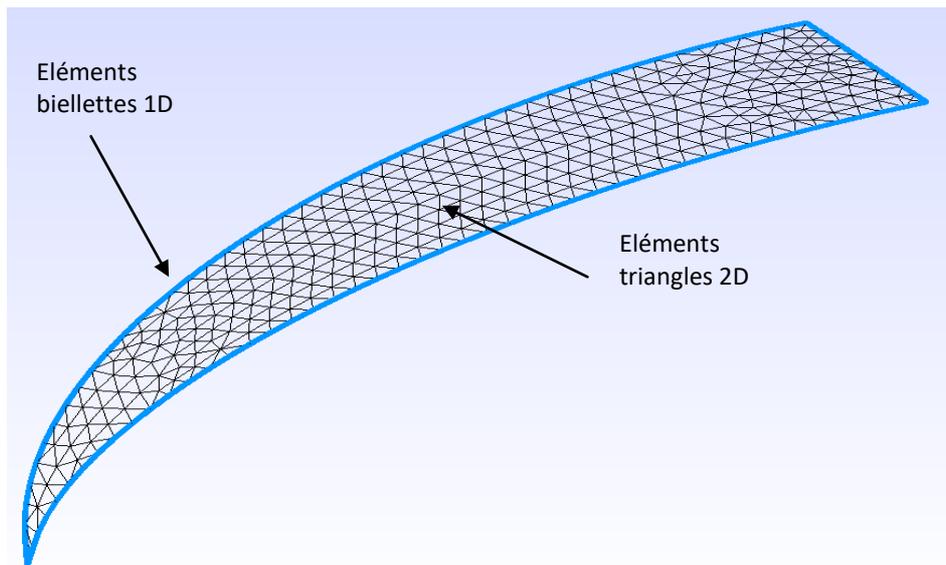


Figure 8: Maillage de la tranche

c) Calcul

1- Réglage du maillage

Ici nous allons régler l'orientation du maillage afin d'éviter des problèmes lors des applications des conditions limites. Mais aussi optimiser la largeur de bande pour augmenter la rapidité et permettre le bon déroulement du calcul dans la partie d'après.

A ce stade-là on visualise le maillage suivant (en rouge sont représentés les efforts):

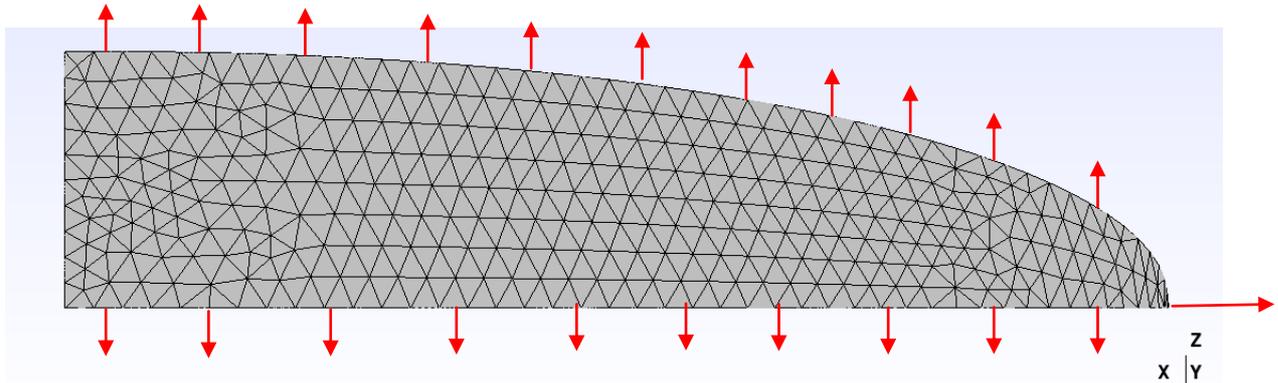


Figure 9: Maillage de la tranche

On remarque qu'il y a un problème de symétrie au niveau des forces, pour y remédier nous devons orienter le maillage et optimiser tout cela.

Il faut faire comme suit :

```
#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL
utilitaires avec plus sauveMaillagesEnCours
#-----
#| definition du (ou des) maillage(s) |
#-----
# -- def maillage
< tranche_ballon.her
```

→ Créée à la fin du calcul un fichier .her et .lis en écrasant l'ancien fichier.

```
def_mouvement_solide_initiaux_
mouvement_solide_
translation_ = 0. 0. 0.
centre_ = 0. 0. 0.
rotation_ = 15. 0. 0. en_degre_
fin_mouvement_solide_
```

→ Permet d'orienter correctement le maillage. Faire une rotation de 15° par rapport à x de centre 0, 0, 0

```
suppression_noeud_non_references_
fusion_noeuds_proches_ 0.001
fusion_elements_superposes_
renumerotation_des_noeuds_
```

→ Optimisation du maillage. Important dû au maillage créé sous gmsh pour la rapidité du calcul

Bien entendu ne pas oublier de définir la loi des éléments 1D et 2D, la masse volumique, l'épaisseur ou la section selon l'élément ainsi que les différents mots clés utiles.

Nous devons obtenir cela :

Avant de faire la mise en donnée il est important de vérifier que le maillage utilisé pour le calcul est comme ci-contre :

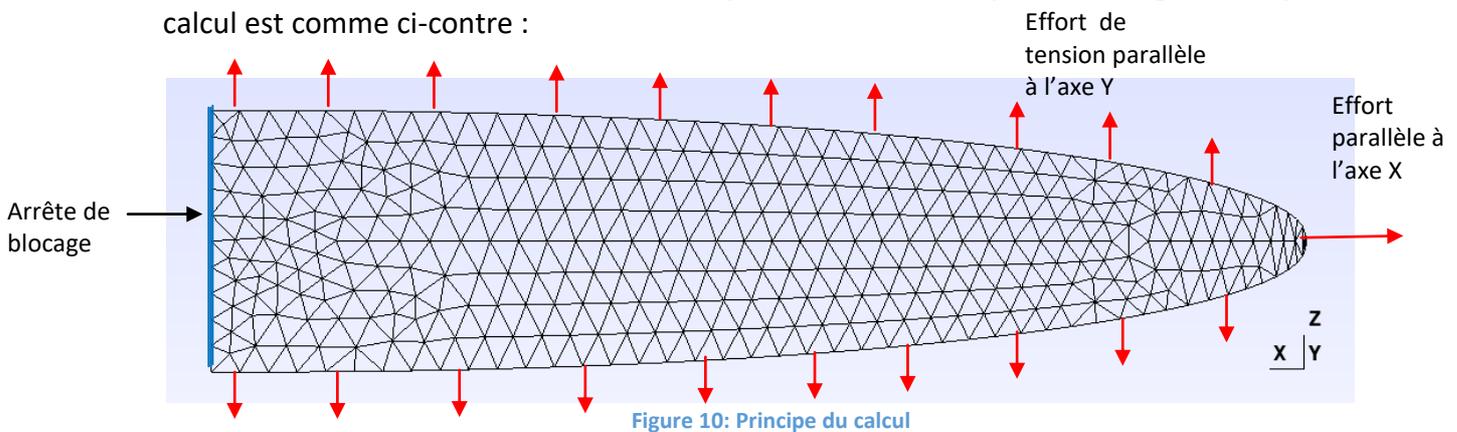


Figure 10: Principe du calcul

2- Lancement du calcul

Nous allons mettre à plat la tranche pour obtenir le patron. Il faut donc utiliser un algorithme de relaxation dynamique avec amortissement cinétique. Nous appliquerons un effort ponctuel au bout de cette tranche de 10000 N et à une certaine itération (lorsque la tranche est pratiquement plate) un effort de tension linéique de 3 N/mm sera appliqué pour mettre à plat le patron. Tout cela en bloquant les nœuds selon x, y et z de l'arrête de blocage (voir figure 10). Pour ce qui concerne les paramètres généraux de la mise en donnée sous Herezh, la section des éléments 1D et l'épaisseur des éléments 2D sont fixés à 1 (ces paramètres n'influent pas sur le calcul). Le module de young doit être grand pour éviter toute déformation du patron qui fausserait les dimensions (E=100 000 MPa et v=0,39)

version 6.791

#-----

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

dynamique_relaxation_dynam avec plus sauveMaillagesEnCours#avec plus visualisation

< relaxation.algo

Sauvegarde le maillage final

Crée nos informations de sortie .Cvisu

On inclut le fichier relaxation.algo possédant les différents paramètres de l'amortissement cinétique.

PARA_TYPE_DE_CALCUL

```
# .....
# / type d'algorithm /
# .....
typeCalRelaxation= 1 lambda= 0.9 type_calcul_mass= 2 option_recalcul_mass= 0
parametre_calcul_de_la_masse_casMass_relax= 3
```

```
avec_amortissement_cinetique_
max_nb_decroit_pourRelaxDyn_ 1
coef_arret_pourRelaxDyn_ 0
coef_redemarrage_pourRelaxDyn_ 0.0
max_deltaX_pourRelaxDyn_ 0.005
nb_max_dX_OK_pourRelaxDyn_ 10
nb_deb_testfin_pourRelaxDyn_ 250
fi_parametre_amortissement_cinetique_
```

Ne pas modifier les paramètres

```
mode_debug_ = 1000
```

```
ARRET_A_EQUILIBRE_STATIQUE_ 2
```

Tous ces différents paramètres sont expliqués dans la documentation d'Herezh.

```
#-----
#| definition du (ou des) maillage(s) |
#-----
nom_maillage tranche_plate # nom du maillage
noeuds ----- # definition des noeuds
0 NOEUDES # definition du nombre de noeuds
elements -----
0 ELEMENTS # definition du nombre d'elements
# -- def maillage
< tranche_ballon.her ← Insertion du maillage de la tranche du
ballon
< tranche_ballon.lis ← Mot clé permettant la fusion du maillage
dans le maillage crée précédemment
fusion_avec_le_maillage_precedent_ ← (maillage_tranche_plate)
#-----
# Definition des courbes
#-----
les_fonctions_nD #-----
fonct_increment FONCTION_EXPRESSION_LITTERALE_nD # exemple pilotage de la force
un_argument= compteur_iteration_algo_global
fct= ((compteur_iteration_algo_global > 100000) ? 1.5e-4 : 1 )
fin_parametres_fonction_expression_litterale_

fonct_increment3 FONCTION_EXPRESSION_LITTERALE_nD # tension sur les bords a 10000
iterations
un_argument= compteur_iteration_algo_global
fct= ((compteur_iteration_algo_global > 10000) ? 1 : 0 )
fin_parametres_fonction_expression_litterale_
```

← Permet de créer un nouveau maillage donc éviter de supprimer l'ancien. De plus celui-ci correspondra à la mise à plat de la tranche

← Création de nos courbes nD en évoluant par rapport aux itérations du calcul

Explication du principe de la fonction :

fonct_increment3 => correspond au nom de la courbe
un_argument= compteur_iteration_algo_global => paramètre de contrôle lié aux itérations du calcul (mots clés sous Herezh) qui va gérer la comparaison
fct= ((compteur_iteration_algo_global > 10000) ? 1 : 0) => Tant que nos itérations sont inférieures à 10000 alors on dit que cela est nulle sinon ça vaut 1.

```

#-----
#| definition des lois de comportement|
#-----
choix_materiaux -----
#-----
# Elements | Nom Materiau |
#-----
E_Surface ballon ← Réfrence liés à nos éléments triangles
E_tranches ballon1 ← Réfrence liés à nos éléments biellettes
materiaux #-----
#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
ballon1 ISOELAS1D ← Loi de Hooke en 1D pour nos éléments
                    biellettes
# ..... loi de comportement isoelastique 1D, contraintes planes .....
# module d'young : coefficient de poisson Paramètre du matériau (Module de Young
100000 0.39 ← et coefficient de poisson)
# -- definition du type de deformation (par default: DEFORMATION_STANDART) --
type_de_deformation DEFORMATION_STANDART
#-----
# Nom Materiau | Type loi |
#-----
ballon ISOELAS2D_C ← Loi de Hooke (élastique linéaire) en 2D pour
                    nos éléments triangles
# ..... loi de comportement isoelastique 2D, contraintes planes .....
# module d'young : coefficient de poisson Paramètre du matériau (Module de Young
100000 0.39 ← et coefficient de poisson)
# -- 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_Surface 1 ← Définitions de la masse volumique et de
epaisseurs #-----# l'épaisseur de nos éléments triangles
E_Surface 1
masse_volumique #-----#
E_tranches 1 ← Définitions de la masse volumique et de la
sections #-----# section pour nos éléments biellettes
E_tranches 1
charges #-----#
N_force PONCTUELLE -10000. 0 0 #Fonction_nD_CHARGE: fonct_increment ← Possibilité de diminuer l'effort en bout de la
A_tranche_droite LINEIQUE 0 0 3 Fonction_nD_CHARGE: fonct_increment3 ← tranche
A_tranche_gauche LINEIQUE 0 0 -3 Fonction_nD_CHARGE: fonct_increment3
blocages #-----#
#-----
# nom du maillage | Ref noeud | Blocages
#-----
N_LIGNE_blocage UX UY UZ ← Effort évoluant en fonction de leurs courbes
nD
Apparition de la tension sur les côtés à
10001 itérations

```

On définit nos efforts soit :

- Un effort ponctuel au nœud au bout de la tranche
- Un effort linéique sur les arrêtes pilotés par la fonction
- Un blocage sur les nœuds

```

controle -----
#-----
# PARAMETRE | VALEUR |
#-----
SAUVEGARDE 1
TEMPSFIN 1.
MULTIPLICATEUR 1.
ITERATIONS 6000000
PRECISION 1.e-3
NORME E_cin/E_stat_ET_min(Res,Res/Reac_et_Fext)
para_affichage #-----
#-----
# PARAMETRE | VALEUR |
#-----
FREQUENCE_AFFICHAGE_ITERATION 1000
FREQUENCE_SORTIE_FIL_DU_CALCUL 1
# -----
resultats pas_de_sortie_finale_
COPIE 0
_fin_point_info_

```

Le calcul se fera en 1 incrément mais beaucoup d'itérations avant de converger

Changer la norme par défaut
⇒ Norme liée à l'énergie cinétique
Utiliser celle-ci

Affichage des itérations tous les 1000

Pour créer notre fichier.Cvisu il est utile d'être avec le paramètre « *avec plus visualisation* » ainsi nous pouvons récupérer différentes informations telle que la déformée, les déformations, les sens des efforts etc....

Pour sauvegarder le résultat final il suffit d'avoir ce paramètre « *avec plus sauveMaillagesEnCours* ». Ainsi avec le mot clé fusion_avec_le_maillage_precedent celui-ci sera fusionné dans maillage_tranche_plate (position finale de la structure en fin de calcul)

d) Obtention du sous-maillage

Il est important de vérifier si la tranche est bien plate et que la déformation est inférieure à 1 % sinon il faut changer les efforts. En effet, cela fausserai les dimensions.

Nous obtenons ainsi le maillage suivant :

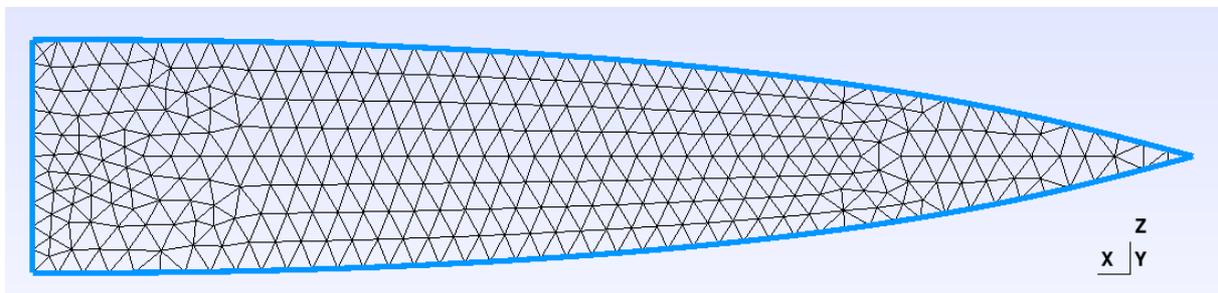


Figure 11: Maillage de la tranche plate

Grâce au maillage de la tranche plate nous pouvons récupérer seulement les éléments 1D de type biellette pour cela nous devons utiliser l'utilitaire suivant « *utilitaires plus cree_sous_maillage* ». Ce nouveau maillage qui sera obtenu, composé seulement d'éléments biellettes, nous permettra de dimensionner le patron pour pouvoir le fabriquer.

Il fonctionne de la manière suivante :

```
#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL
utilitaires plus cree_sous_maillage ← Permet de récupérer un sous-maillage.
#-----                                     Ici le contour, nos éléments biellettes
#| definition du (ou des) maillage(s) |
#-----
# -- def maillage
< tranche_plate.her ← Ajout du maillage final (tranche du ballon à
< tranche_plate.lis                               plat)
```

Bien entendu ne pas oublier de définir la loi des éléments 1D et 2D, la masse volumique, l'épaisseur ou la section selon l'élément ainsi que les différents mots clés utiles.

Le menu se présente comme ci-contre :

```

|          creation d'un sous maillages          |
|          a partir d'une ref d'elements         |
|-----|
===== choix de la reference d'elements =====
liste des ref d'elements disponibles             (rep list)
nom de la ref d'element du sous maillage        (rep nref)
nom du maillage associe a la ref (defaut: le premier)(rep noma)
nom du nouveau maillage                         (rep nmai)
fin (appel de la methode de creation)           (rep f)
reponse ?
```

- « list » nous permet de connaître les références des différents éléments
- « nref » nous permet de renseigner l'élément que nous voulons extraire
- « nmai » permet de renommer le nouveau maillage à extraire
- « f » permet de finir le processus

« list » permet d'afficher nos différents éléments

Exemple pour récupérer nos éléments biellettes 1D :

```

===== choix de la reference d'elements =====
liste des ref d'elements disponibles             (rep list)
nom de la ref d'element du sous maillage        (rep nref)
nom du maillage associe a la ref (defaut: le premier)(rep noma)
nom du nouveau maillage                         (rep nmai)
fin (appel de la methode de creation)           (rep f)
reponse ? list

----- affichage references -----
E_2_1 E_2_10 E_2_2 E_2_3 E_2_4 E_2_5 E_2_8 E_Surface E_blocage E_tout E_tranch
e_droite E_tranche_gauche E_tranches
```

```

===== choix de la reference d'elements
liste des ref d'elements disponibles          (rep list)
nom de la ref d'element du sous maillage     (rep nref)
nom du maillage associe a la ref (default: le premier)(rep noma)
nom du nouveau maillage                      (rep nmai)
fin (appel de la methode de creation)        (rep f)
reponse ? nref

nom de la ref d'element du sous maillage : E_tranches

nom lue: E_tranches
    
```

« nref » sélectionne l'élément à récupérer.
Ici le contour de la tranche (éléments 1D)

« nmai » permet de renommer notre
nouveau maillage pour donner naissance à
un nouveau fichier .her et .lis

```

===== choix de la reference d'elements
liste des ref d'elements disponibles          (rep list)
nom de la ref d'element du sous maillage     (rep nref)
nom du maillage associe a la ref (default: le premier)(rep noma)
nom du nouveau maillage                      (rep nmai)
fin (appel de la methode de creation)        (rep f)
reponse ? nmai

nom du nouveau maillage : dimension_tranches

nom lue: dimension_tranches

===== choix de la reference d'elements
liste des ref d'elements disponibles          (rep list)
nom de la ref d'element du sous maillage     (rep nref)
nom du maillage associe a la ref (default: le premier)(rep noma)
nom du nouveau maillage                      (rep nmai)
fin (appel de la methode de creation)        (rep f)
reponse ? f

attention: ref E_2_10 sans numero associe, on ne la sauvegarde pas
attention: ref E_2_8 sans numero associe, on ne la sauvegarde pas
attention: ref E_Surface sans numero associe, on ne la sauvegarde pas
temps_user:0/00:00:00.03 system:0/00:00:00.00 reel:0/00:07:38.50
    
```

Nous devons alors visualiser ce nouveau maillage sous hz_visuMail.pl:

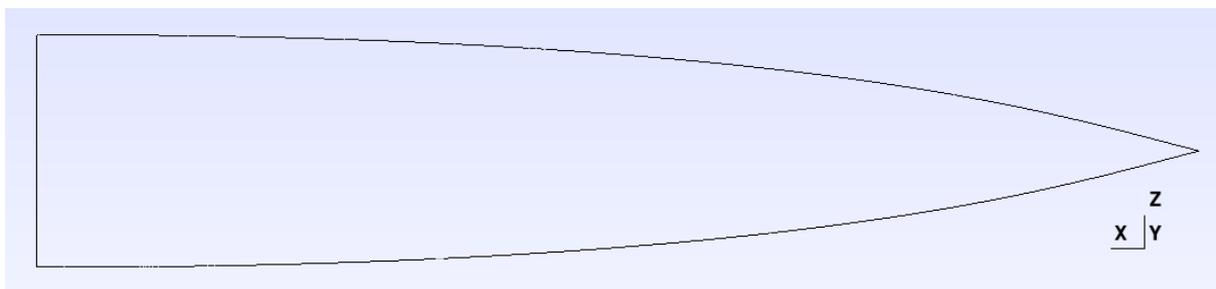


Figure 12: Maillage biellette de la tranche

Comme nous pouvons le voir nous obtenons seulement nos éléments 1D. Il est alors possible de dimensionner notre patron avec un fichier .info où nous appliquons aucun effort mais juste un blocage. Nous sortirons en fin de calcul juste sa déformée nous obtiendrons cela :

Ce résultat est possible sous Gmsh après quelques modifications dans les options.

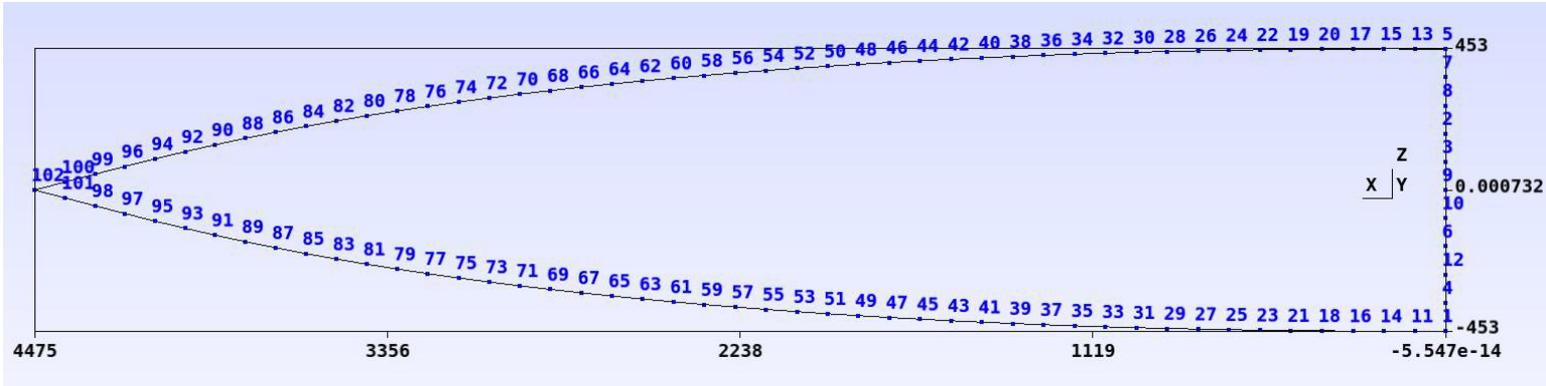
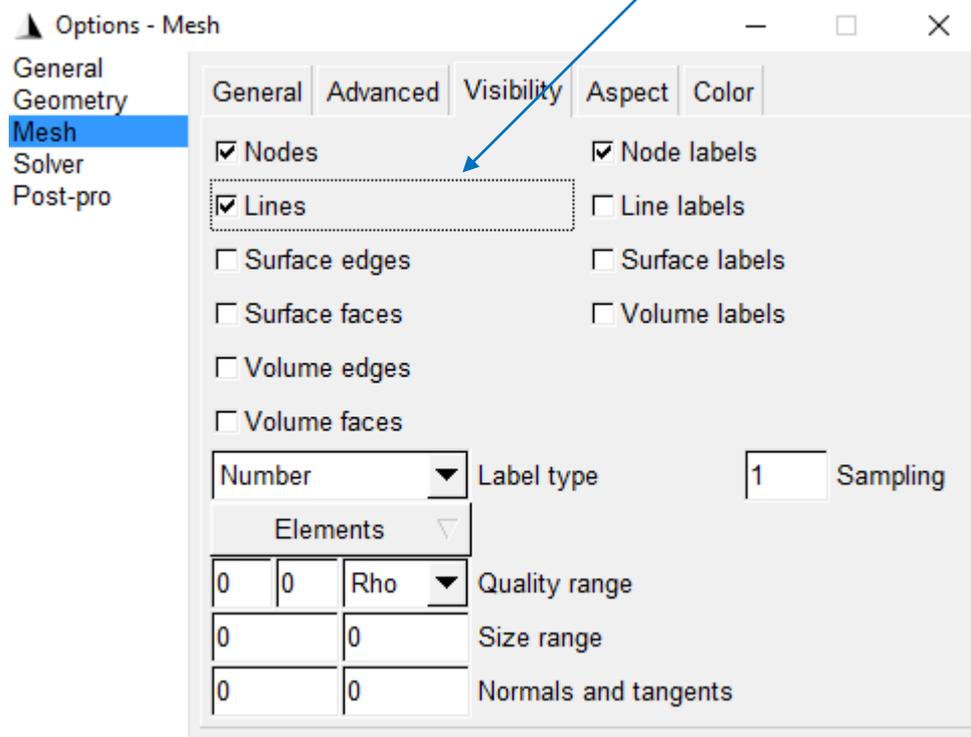


Figure 13: boîte de dimension

Voici les options à modifier :

Cocher ces 3 cases dans l'onglet Visibility de Mesh



Options - Mesh

- General
- Geometry
- Mesh**
- Solver
- Post-pro

General | Advanced | Visibility | Aspect | Color

Enable lighting

Volume and surface | Edge lighting

Use two-side lighting

Smooth normals

30 | Smoothing threshold angle

By element type | Coloring mode

- Points
- PointsSup
- Lines
- Triangles
- Quadrangles

Sélectionner By element Type dans onglet Color de Mesh

Sélectionner Box dans l'onglet Axes de General

Options - General

- General**
- Geometry
- Mesh
- Solver
- Post-pro

General | Advanced | **Axes** | Aspect | Color | Camera

Box | Axes mode Mikado style

5	5	5	Axes tics
%.3g	%.3g	%.3g	Axes format
			Axes labels

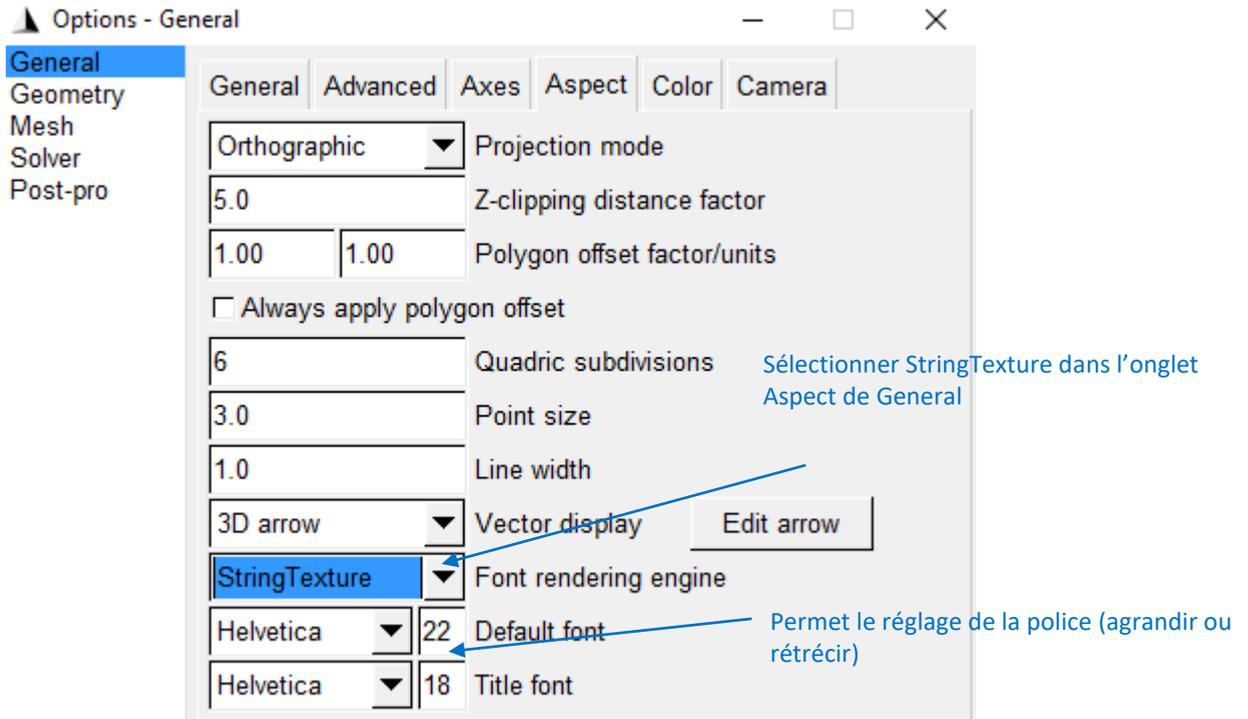
Set position and size of axes automatically

0	0	0	Axes minimum
1	1	1	Axes maximum

Show small axes

-60	-40	Small axes position
-----	-----	---------------------

Permet le réglage de la position du repère



Il est peut-être nécessaire de déplacer le patron pour que le nœud 9 soit à zéro et que notre patron soit symétrique par rapport à x tout en évoluant positivement pour faciliter la lecture. Si c'est le cas il suffit juste de déplacer le maillage voire de faire une rotation :

```
#-----
# definition du type de calcul |
#-----
TYPE_DE_CALCUL
non_dynamique avec plus sauveMaillagesEnCours#avec plus visualisation
#-----
#| definition du (ou des) maillage(s) |
#-----
nom_maillage dimension # nom du maillage
noeuds ----- # definition des noeuds
0 NOEUDS # definition du nombre de noeuds
elements -----
0 ELEMENTS # definition du nombre d'elements
# -- def maillage
< dimension_tranches.her
< dimension_tranches.lis
def_mouvement_solide_initiaux_
mouvement_solide_
translation_ = -3.7500000000000000e+03 0. 0.
centre_ = 0. 0. 0.
rotation_ = 0. 180. 0. en_degre_
fin_mouvement_solide_
fusion_avec_le_maillage_precedent_
```

Translation de la structure pour que le nœud 9 soit à l'origine (voir la coordonnée du nœud sur le .her)

Rotation de la structure pour que les grandeurs évoluent positivement

III) Dimensionnement

L'objectif est de concevoir les dimensions de notre patron pour que celui-ci soit conçu. Donc il faut que les coordonnées soit dans l'ordre croissant, non rangées aléatoirement, puis que l'architecture du patron soit bien organisée.

Donc comme on peut le voir nous avons obtenu cela précédemment :

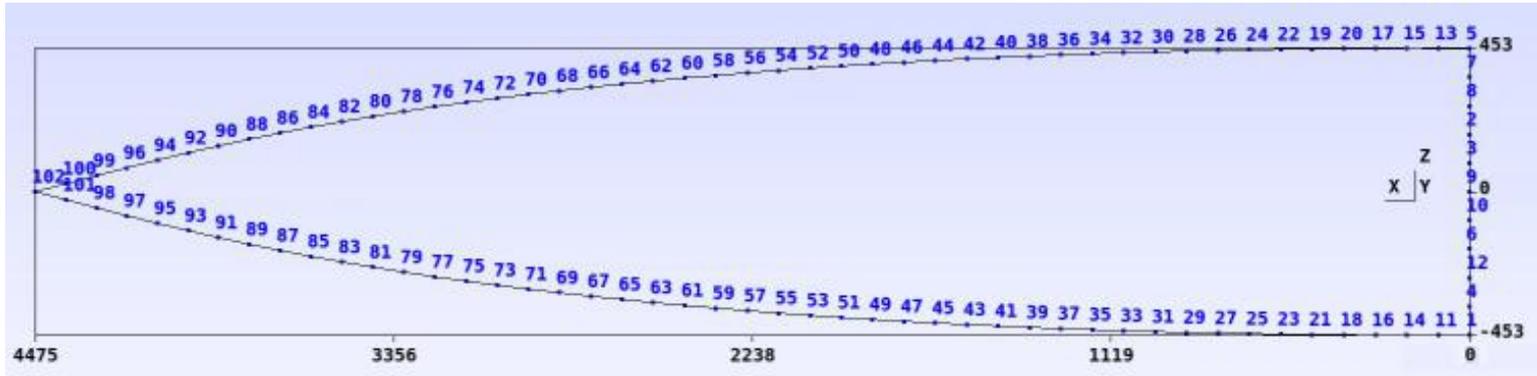


Figure 14: Boite de dimension

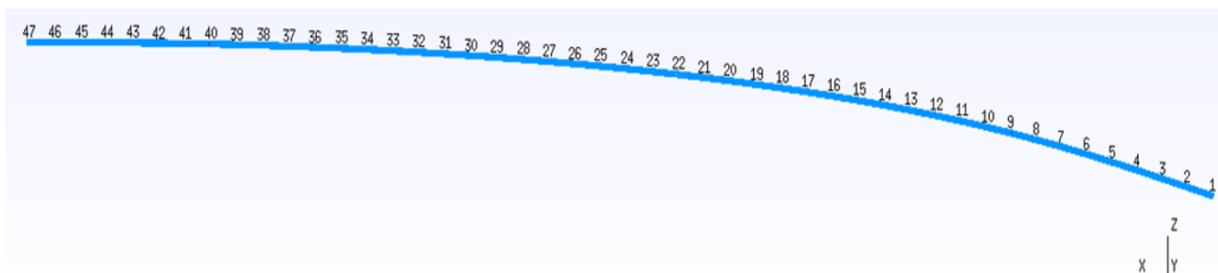
On remarque que pour celui qui va concevoir le patron, lors de la recherche des coordonnées dans le fichier .her cela ne va pas être pratique et simple. En effet, les nœuds ne sont pas rangés dans l'ordre croissant. Cette figure nous est utile pour avoir un aperçu global du patron et la surface nécessaire pour la concevoir.

a) Sous-maillage des arrêtes

Une méthode est de récupérer les 3 arrêtes séparément, nous aurons alors nos 3 éléments biellettes puis de renuméroter les nœuds. Ainsi, sur chacune de nos arrêtes nos nœuds seront croissants et il sera même possible de connaître la longueur exacte de l'arrête.

Pour cela il faut d'abord récupérer nos 3 arrêtes puis procéder de la même manière en changeant la référence lors de la sous-partie II-d) Obtention du sous-maillage.

Nous devons ainsi obtenir ces différentes arrêtes:



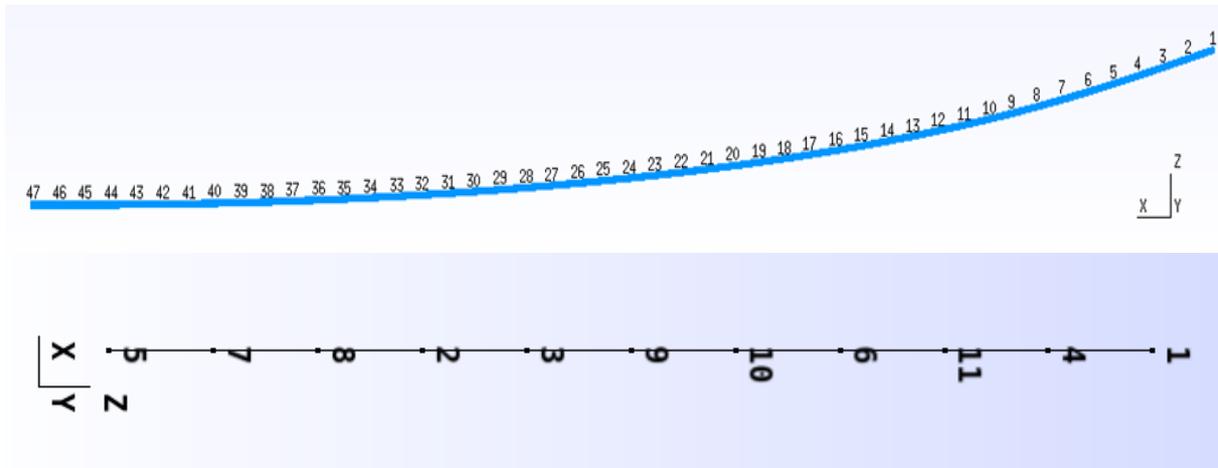


Figure 15: Les arrêtes du ballon

On remarque bien que sur l'arrête du milieu, nos noeuds ne sont pas rangés dans l'ordre croissant. Il suffit juste de faire une renumérotation des nœuds sur cette arrête comme suit :

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

non_dynamique avec plus sauveMaillagesEnCours#avec plus
sauveMaillagesEnCours#avec      plus visualisation

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

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

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

def_mouvement_solide_initiaux_
  mouvement_solide_
  translation_ = -3.7500000000000000e+03 0. 0.
  centre_ = 0. 0. 0.
  rotation_ = 0. 180. 0. en_degre_
fin_mouvement_solide_

suppression_noeud_non_references_
renumerotation_des_noeuds_

fusion_avec_le_maillage_precedent_
```

Pour simplifier la lecture des coordonnées des nœuds. En effet selon la tranche fera apparaitre des coordonnées nulles par rapport à un repère

Renumerotation des nœuds

Bien entendu ne pas oublier de définir la loi pour un élément 1D, la masse volumique, la section selon l'élément, un blocage sur les noeuds ainsi que les différents mots clés utiles.

En sortie, nous récupérerons sa déformée pour avoir une aperçu de l'arrête ainsi que la longueur de l'arrête.

Pour obtenir la longueur il suffit de créer un fichier.mapple. Lorsque nous sommes avec le mot clef « avec plus visualisation » il suffit de suivre ces étapes :

Remarque : La création du fichier.mapple est accessible à la fin du calcul en sélectionnant l'option 4.

```

option par défaut : tous les increments          (rep 1)
choix d'un nombre plus petit d'increment       (rep 2)
reponse ? 1                                     ← Répondre 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                                     ← Sélectionner cg

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 défaut             -> rep : o
pour arreter les questions                     -> rep : fin (ou f)
reponse ? glo                                  ← Choisir les grandeurs globales

liste des grandeurs globales disponibles en sortie:
>>> energie_bilan energie_bulk_viscosity energie_cinetique energie_elastique en
nergie_externer energie_frot_elast energie_frot_plast energie_frot_visq energie_ho
urglass energie_interne energie_penalisation energie_plastique energie_visco_num
erique energie_visqueuse puissance_acceleration puissance_bilan puissance_bulk_v
iscosity puissance_externer puissance_interne quantite_mouvement tpsU_CL tpsU_CLL
tpsU_CalEquilibre tpsU_InitAlgo tpsU_Lois_comp tpsU_MatSmLoc tpsU_Metriques tps
U_MiseAJourAlgo tpsU_ResSystLineaire tpsU_Sauvegarde tpsU_SmLoc tpsU_SortieFilCa
lcul tpsU_chargement tpsU_contactMatSmLoc tpsU_contactSmLoc tpsU_rech_contact vo
lume_total_matiere

grandeurs que vous voulez visualiser           (rep grandeurs?)
toutes les grandeurs (rep par défaut)          (rep : to)
effacer la liste actuelle                      (rep : ef)
                                                (pour terminer tapez : fin (ou f) )
grandeur ? volume_total_matiere                ←

```

Puis prendre ce choix : volume_total_matiere
Nous sommes en 1D donc cela nous permettra d'avoir
sa longueur, en 2D la surface et en 3D son volume

Ainsi, nous devons obtenir cela :

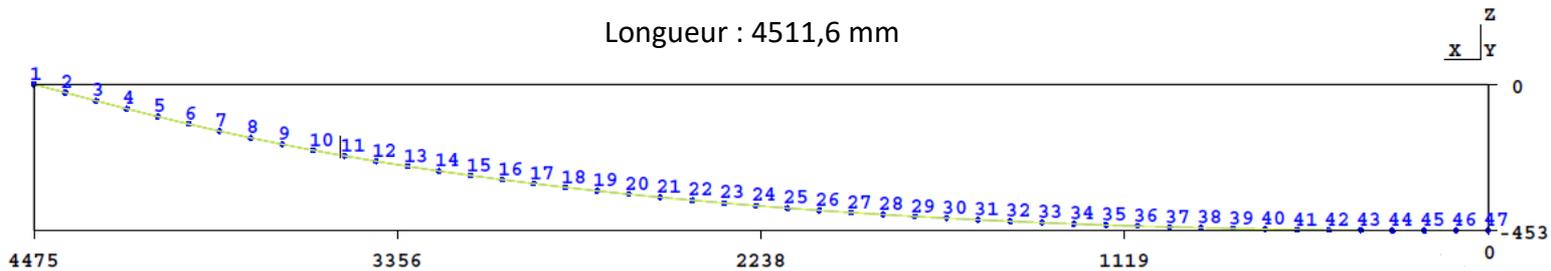


Figure 16: Dimension de l'arrête droite

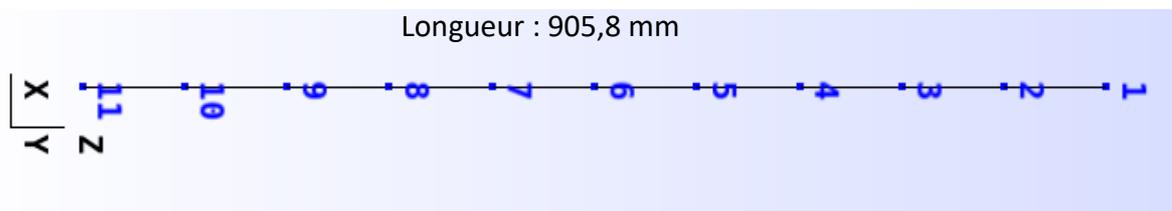


Figure 17: Dimension de l'arrête du milieu

Par symétrie de l'arrête droite nous obtenons l'arrête gauche.

A ce stade il est possible de faciliter la conception de ce ballon. Chacune des coordonnées se trouvent dans le fichier.her associé à l'arrête. Il est possible de récupérer ces valeurs dans un tableur pour améliorer la lisibilité et la compréhension de ces coordonnées.

IV) Conclusion :

Vous pouvez à présent grâce à ce tutoriel dimensionner un patron d'une structure quelconque en toute simplicité. Découvrir les nouvelles fonctionnalités d'Herezh comme l'obtention de sous-maillage ou l'utilisation d'une courbe prenant en paramètre les itérations du calcul.

Ci-joint les différents dossiers pour reproduire ce résultat.

Les étapes à suivre sont dans le tutoriel. Chaque dossier est numéroté, ils sont à suivre dans cet ordre :

Dossier « 1-Optimisation_Maillage » :

- Fichier d'entrée : ballon.her crée avec le maillage de ballon.geo en .msh
- Permet d'optimiser le maillage
- De faire les déplacements si nécessaire
- Sauvegarder le maillage final (tranche_ballon.her et .lis)

Dossier « 2-Mise_a_plat » :

- Fichier d'entrée : tranche_ballon.her, tranche_ballon.lis et relaxation.algo
- Permet le calcul de la mise à plat de la tranche
- Sauvegarder le maillage final (tranche_plate.her et .lis)

Dossier « 3-Sous_maillage » :

- Fichier d'entrée : tranche_plate.her, tranche_plate.lis

- Obtention des éléments biellettes
- Sauvegarder le maillage final (dimension_tranches.her et .lis)

Dossier « 4-Dimension » :

- Fichier d'entrée : dimension_tranches.her et dimension_tranches.lis
- Faire des déplacements si nécessaire
- Sauvegarder le maillage final (dimension.her et .lis)
- Visualisation des dimensions sous forme de boîte sous Gmsh

Dossier « 5-Opti_Dimension » :

- Chaque répertoire est associé à son arrête
- Permet juste de renuméroter les nœuds si besoin et visualiser les dimensions
- Obtention de la longueur des arrêtes

Ainsi que la mise en donnée du fichier.geo possédant la géométrie de la tranche avec son fichier.her non optimisé contenant le maillage.